

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ



**И.О. Прокофьев**

# ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

**Учебное пособие**

ISBN 978-5-6043759-1-4



9 785604 375914

**Москва  
2019**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (МГТУ ГА)»**

---

**Кафедра технической эксплуатации радиоэлектронного  
оборудования воздушного транспорта**

**И.О. Прокофьев**

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**Учебное пособие**

Утверждено Редакционно-  
издательским советом МГТУ ГА  
в качестве учебного пособия

Москва  
2019

УДК  
ББК 0580.2  
П-80

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

Рецензенты:

*Петров В.И.* (МГТУ ГА) – канд. техн. наук, доцент;  
*Васильев О.В.* (ОАО Бортовые аэронавигационные системы) –  
д-р техн. наук, профессор

**Прокофьев И.О.**

П-80 Организация воздушного движения: учебное пособие. / И.О. Прокофьев. — Воронеж: ООО «МИР», 2019. — 68 с.

ISBN 978-5-6043759-1-4

Учебное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Организация воздушного движения» по учебному плану для студентов специальности 25.05.03 всех форм обучения.

В учебном пособии изложен материал для изучения строения воздушного пространства, организации и управление потоками движения ВТ. Представлены теоретические подходы к определению загруженности авиадиспетчера исходя из плотности движения потоков ВТ.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 29.08.2019 г. и методического совета 12.09.2019 г.

*В авторской редакции.*

**ББК 0580.2**  
**Св. тем. план 2019 г.**  
**поз. 20**

ПРОКОФЬЕВ Игорь Олегович  
ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ  
Учебное пособие

Подписано в печать 21.10.2019 г.  
Формат 60x80/16 Печ. л. 4,25 Усл. печ. л. 3,95  
Заказ 551/7688 Тираж 80 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20  
Отпечатано ООО «МИР»  
394033, г. Воронеж, Ленинский пр-т 119А, лит. Я, оф. 215

ISBN 978-5-6043759-1-4

© Московский государственный  
технический университет ГА, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА .....</b>	<b>6</b>
СТРУКТУРА ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА .....	6
РАЗДЕЛЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА .....	7
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	7
ВОЗДУШНЫЕ ТРАССЫ И МЕСТНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ .....	11
ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕМЕНТА ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА.....	12
ПЛАНИРОВАНИЕ И КООРДИНИРОВАНИЕ ИВП В СООТВЕТСТВИИ С ГОСУДАРСТВЕННЫМИ ПРИОРИТЕТАМИ .....	16
ЭКОНОМИЧНОСТЬ, РЕГУЛЯРНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ .....	16
<b>ПРАВИЛА ПОЛЕТОВ.....</b>	<b>21</b>
КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛЕТОВ.....	21
МИНИМУМЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕТОВ .....	22
БЕЗОПАСНЫЕ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА.....	25
<b>ЭШЕЛОНИРОВАНИЕ – ОСНОВНОЙ МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ.....</b>	<b>29</b>
МИНИМАЛЬНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ .....	30
ЭШЕЛОНИРОВАНИЕ НАД ОКЕАНОМ .....	33
<b>ПЛАНИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОКОВ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ .....</b>	<b>34</b>
Задачи воздушной навигации.....	40
<b>ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ .....</b>	<b>41</b>
АЭРОНАВИГАЦИОННОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПОЛЕТОВ.....	51
СРЕДСТВА АЭРОНАВИГАЦИОННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	51
ОПЛАТА РАСХОДОВ НА АНО .....	51
<b>ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БП.....</b>	<b>52</b>
<b>ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ .....</b>	<b>54</b>
<b>АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УВД .....</b>	<b>61</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>68</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Организация воздушного движения** представляет собой динамичный и комплексный процесс обслуживания воздушного движения, организации потоков воздушного движения и воздушного пространства, осуществляемый безопасным, экономичным и эффективным образом путем предоставления средств и непрерывного обслуживания в сотрудничестве и взаимодействии всех заинтересованных сторон и с использованием бортовых и наземных функций.

**Воздушное пространство ОВД** есть воздушное пространство определенных размеров, в пределах которого могут выполняться конкретные виды полетов и для которого определены виды ОВД и правила полетов, включающие в себя ВП над территорией России, территориальными водами и открытым морем, где в соответствии с Международными соглашениями ответственность за обслуживание воздушного движения возложена на Россию.

**Организация воздушного пространства** представляет собой процесс обеспечения эффективного и безопасного совместного использования ВП всеми пользователями. Его основная задача – получение наиболее полной пропускной способности ВП, которая решается путем гибкого использования отдельных частей ВП всеми пользователями с учетом фактических потребностей в данное время.

Задачей организации воздушного пространства, осуществляемой органами ОВД в соответствующих зонах и районах, является определение либо согласование границ элементов структуры воздушного пространства и классификации воздушного пространства, которые устанавливаются в порядке, предусмотренном Федеральными правилами использования воздушного пространства Российской Федерации, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. N 138

**Организация (планирование) потоков ВД** – это процесс формирования оптимального потока ВС через элементы ВП в период, когда потоки ВС приближаются к значению пропускной способности отдельных элементов ВП, аэроузлов и/или системы УВД, действующей в данном регионе. Организация ВП и потоков ВД составляет процесс планирования ИВП.

Обслуживание ВД может быть диспетчерским, полетно-информационным, консультативным и аварийным.

Диспетчерское обслуживание, называемое также управлением воздушным движением (УВД), является основным процессом организации ВД. Его задача – предотвращение столкновений ВС между собой в воздухе и на земле, предотвращение столкновений ВС с наземными препятствиями, включая транспортные средства аэродрома.

В России существует Единая система ОрВД (ЕС ОрВД), которая для достижения надежности, экономичности и регулярности полетов ВС должна выполнять главные задачи и цели – рациональное использование ВП страны для

полетов ВС всех заинтересованных ведомств, обеспечение упорядоченного движения ВС с соблюдением соответствующих правил, параметров ограничений, анализа и контроля состояния воздушной обстановки и осуществления непосредственного обслуживания (управления) процессом выполнения полетов на аэродроме и в воздушном пространстве. Это управление осуществляет ФГУП «Госкорпорация по ОрВД»

## ОРГАНИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

Движение летательных аппаратов, в том числе и воздушных судов (ВС), происходит в воздушном пространстве.

### Структура воздушного пространства

**Воздушное пространство ОВД** - воздушное пространство определенных размеров с буквенным обозначением, в пределах которого могут выполняться конкретные виды полетов и для которого определены обслуживание воздушного движения и правила полетов.

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

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

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

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

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

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

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

Эти функции осуществляются **органами единой системы организации воздушного движения Российской Федерации** (ЕС ОрВД, соответствующий международный термин ATM – Air Traffic Management): Межведомственной комиссией по использованию ВП РФ, зональными межведомственными комиссиями по использованию ВП, Управлением по использованию воздушного

пространства и управлению воздушным движением Министерства обороны, Управлением государственного регулирования организации воздушного движения Федеральной службы воздушного транспорта, оперативными органами ЕС ОрВД.

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

- зоны и районы ЕС ОрВД;
- воздушное пространство приграничной полосы;
- районы аэродромов и аэроузлов;
- воздушные трассы и местные воздушные линии;
- маршруты полетов;
- спрямленные воздушные трассы;
- воздушные коридоры пролета государственной границы РФ;
- коридоры входа (выхода) на воздушные трассы;
- специальные зоны полетов ВС;
- запретные зоны;
- зоны ограничений полетов;
- опасные зоны (районы пуска и падения ракет и их отделяемых частей);
- районы полигонов, взрывных работ, противорадиолокационных стрельб,

производства авиационных работ и специальные районы.

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

## **Разделение воздушного пространства.**

### **Характеристики основных элементов.**

Воздушное пространство подразделяется на нижнее и верхнее с границей между ними – высотой 8100 м (которую относят к верхнему пространству).

По высоте выполнения полетов в воздушном пространстве выделяются:

- предельно малые высоты – от 0 до 200 м включительно над рельефом местности или водной поверхностью;
- малые высоты – свыше 200 до 1000 м включительно;
- средние высоты – свыше 1000 до 4000 м включительно;
- большие высоты – свыше 4000 до 12 000 м включительно;
- стратосфера – свыше 12 000 м и до стратопазузы включительно.



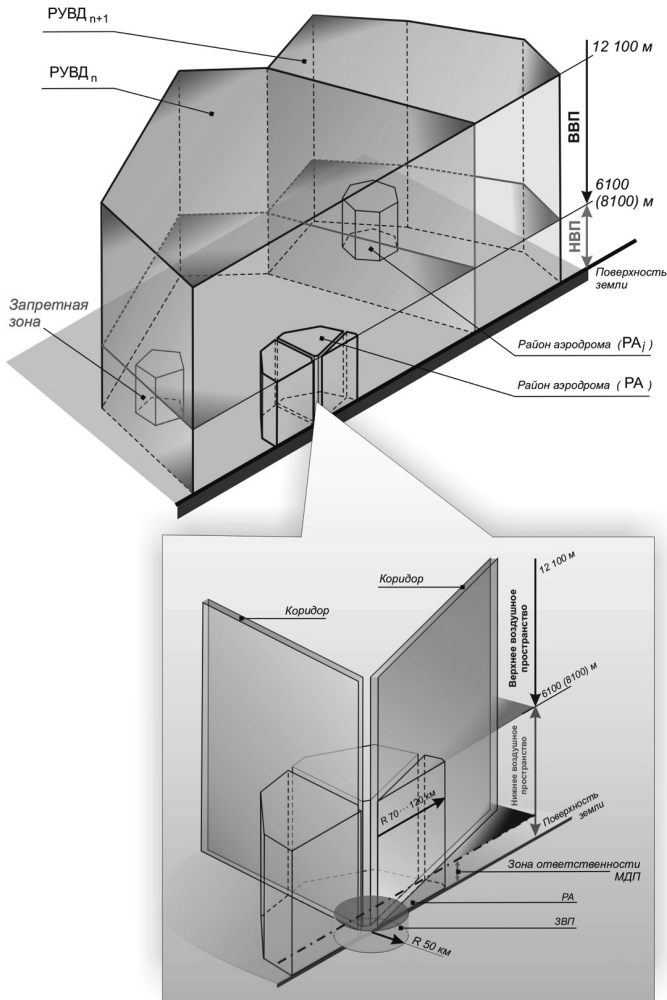


Рис. 1. Разделение и элементы воздушного пространства

При полете воздушные суда должны выполнять нормы эшелонирования

Рассмотрим основные элементы структуры воздушного пространства.

**Зона (район) ЕС ОрВД** – наиболее крупные (по площади) и сложные по внутренней структуре элементы ВП, включающие другие элементы (из перечисленных ниже). Зона (районы) ЕС ОрВД представляет собой часть ВП установленных размеров. Планирование и координирование использования ВП,

организации воздушного движения, обеспечения разрешительного порядка использования и контроля за соблюдением правил использования в своей зоне ответственности осуществляет **Зональный (вспомогательный) центр – ЗЦ (ВЗЦ) ЕС ОрВД.**



## Структура центров ЕС ОрВД

**28 центров ЕС ОрВД:**

- ГЦ ЕС ОрВД – 1;
- ЗЦ ЕС ОрВД – 7;
- РЦ ЕС ОрВД – 20

**Одновременно  
под управлением  
> 1000 ВС**

**Протяженность  
маршрутов ОВД  
>800 тыс. км**



Рис 2. Структура центров ЕС ОрВД

Общая площадь зоны ответственности Единой системы - более 26 млн. кв. км. На этой территории осуществляют свою деятельность 28 центров ЕС ОрВД. Один главный центр и 7 зональных центров. А в состав этих зональных центров входят 20 районных, из них 12 с правом планирования, координирования и выдачи разрешений на использование воздушного пространства. Одновременно под управлением диспетчеров, которые осуществляют непосредственное управление воздушным движением, находится около 1000 воздушных судов. Общая протяженность маршрутов, по которым осуществляется управление воздушным движением - свыше 800 тыс.км.

По площади зоны ответственности Зональных центров существенно отличаются. Если, например, сравнить Самарскую зону и Хабаровскую, то видно, что в Хабаровской зоне находятся 6 районных центров и 490 аэродромов, а в Самарской зоне всего один районный центр и 100 аэродромов. Площадь ответственности Хабаровского зонального центра в 5-6 раз больше Самарской зоны ответственности. При этом в Хабаровской частота полетов не меньше. Через нее проходят полеты с Аляски в юго-восточную Азию, и там плотность движения приличная. Ведь помимо управления полетами над территорией России, ЕС ОрВД делегирована часть воздушного пространства

над нейтральными водами. Существует два океанических центра, это Магаданский и Мурманский центры. Управление воздушным движением идет практически до Северного полюса. Здесь проходят международные кросс-полярные маршруты.

**Аэродром** – определенный участок земной или водной поверхности, включая на нем здания, сооружения и оборудование, в том числе инженерные системы (инженерную инфраструктуру), предназначенный полностью или частично для взлета, посадки, руления и стоянки по этой поверхности воздушных судов и других видов летательных аппаратов, а также их технического обслуживания, огражденный (обозначенный) в соответствии с нормами проектирования аэродромов (аэропортов).

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

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

В отдельных случаях при выполнении полетов ВС в аэродромных зонах по правилам визуальных полетов со скоростью 300 км/ч и меньше могут устанавливаться значения ограничений (не менее):

- в вертикальной плоскости – 300 м;
- в горизонтальной плоскости – 5 км.

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

## **Воздушные трассы и местные воздушные линии.**

**Воздушная трасса** Российской Федерации – установленная для полетов ВС область воздушного пространства, ограниченная по высоте и ширине, обеспеченная средствами навигации и обслуживанием воздушного движения.

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

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

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

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

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

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

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

Все элементы воздушного пространства по определению имеют ограниченный объем.

## Пропускная способность элемента воздушного пространства

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

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

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

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

Тогда, по определению, плотность потока  $\rho$  задается соотношением

$$\rho = Q/P. \quad (1)$$

При  $v = \text{const}$  выражение (1) справедливо как для  $Q = \text{const}$ , так и для  $Q = \text{var}$ . Иными словами, речь идет о мгновенном значении плотности  $\rho(t)$ . При  $Q = \text{const}$  и  $\rho = \text{const}$  имеет место установившийся процесс. Естественно, рассматривать изменение  $Q$  как результат дисбаланса между притекающим (или втекающим) и вытекающим из него потоками. Пусть за время  $dt$  притекающий поток равен  $dQ^i$ , а вытекающий  $dQ^0$ . Тогда интенсивность втекающего и вытекающего потоков равны соответственно

$$\lambda^i = \frac{dQ^i}{dt} \quad \text{и} \quad \lambda^0 = \frac{dQ^0}{dt}. \quad (2)$$

Очевидно, что  $dQ = dQ^i - dQ^0$  и при  $\lambda^i = \lambda^0 = \lambda$   $Q = \text{const}$ .

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

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

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

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

где  $i$  – порядковый номер в потоке.

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

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

Рассмотрим участок трассы на данном эшелоне фиксированной длины (протяженности)  $L$  (рис. 3). С учетом ограниченности ширины трассы и невозможности «обгона» при полете на одном эшелоне в качестве параметра, соответствующего объему  $P$  (см. формулу 1), выступает его длина  $L$ . Обозначим интенсивность втекающего (притекающего) и вытекающего потоков через  $\lambda^i$  и  $\lambda^o$  соответственно.

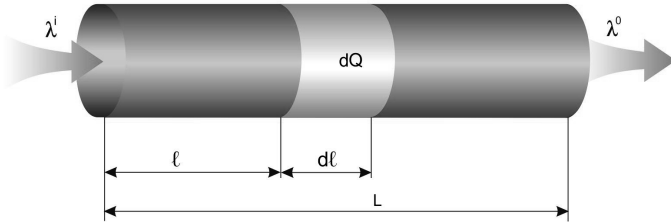


Рис. 3. Параметры тракторного потока

Параметры  $\lambda^i$  и  $\lambda^o$ , вообще говоря, являются функциями времени  $\lambda^i(t)$  и  $\lambda^o(t)$ , но для краткости записи время  $t$  в этих обозначениях опускается.

Выражению (1) соответствует средняя (интегральная) плотность  $\rho = Q/L$ , а при неравномерном распределении ВС по длине трассы – дифференциальная плотность  $\rho = \frac{dQ}{dl}$ , которая в общем случае отличается от интегральной. Представим последнее выражение в виде  $dQ = \rho dl$  и, разделив его левую и правую часть на приращение  $dt$ , получим:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dl}{dt} \rho.$$

Заменив в соответствии с (2) левую часть на  $\lambda$  и учитывая, что  $\frac{dl}{dt} = v$  – скорость движения по трассе, получим хорошо известную формулу:

$$\lambda = v\rho. \quad (3)$$

Строго говоря, это соотношение имеет место для установившегося процесса при условии  $\lambda^i = \lambda^o = \lambda$ . Очевидно также, что в этом случае и при  $v = \text{const}$  средняя (интегральная) и дифференциальная плотности равны.

Из соотношений (1.1) и (1.3) следует

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

где  $\theta = L/v$  – длительность полета на расстояние  $L$ .

В соответствии с летно-техническими характеристиками ВС обычно выделяется несколько высотных слоев, оптимальных для определенных типов самолетов. Так, для верхнего пространства скорость  $v$  может быть равной 900

км/ч, для среднего 750 км/ч, а для нижнего 475 км/ч. В связи с этим можно допустить, что каждой трассе (или участку трассы) соответствует вполне определенная скорость  $V$ . Рассмотрим влияние разброса фактических скоростей.

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

Примем в этом случае

$$\begin{aligned} V &= (V_2 + V_1)/2, \\ \Delta V &= V_2 - V_1. \end{aligned}$$

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

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

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

Итак, в качестве двух основных параметров, характеризующих рассматриваемый элемент ВП – участок трассы, целесообразно принять его протяженность (длину  $L$ ) и скорость движения по трассе  $V$  или их отношение  $\theta = L/V$ . Эту величину можно трактовать как «временную длину», т.е. параметр, имеющий размерность времени.

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

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

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

$$\lambda_m = V/d_m,$$

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

Приведенные выше формулы расчета пропускной способности получены при значительных упрощениях. Реальные сети воздушных трасс, местных воздушных линий и маршрутов имеют сложную структуру, да и сами элементы весьма разнообразны и работают в условиях, отличных от предельных. Примерный перечень типов участков трасс с указанием упорядоченности по степени сложности приведен в таблице 1.

## Классификация участков воздушных трасс по уровню сложности

Таблица 1

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

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

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



## **Планирование и координирование ИВП в соответствии с государственными приоритетами**

В общем случае все пользователи ВП обладают равными правами на его использование. Однако при возникновении потребности в использовании ВП одновременно двумя и более пользователями ВП право на его использование предоставляется пользователям в соответствии с государственными приоритетами в следующей последовательности:

1. Отражение воздушного нападения, предотвращение и прекращение нарушений государственной границы РФ или вооруженного вторжения на территории РФ;

2. Оказание помощи при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера;

3. Запуск, посадка, поиск и эвакуация космических аппаратов и их экипажей;

4. Предотвращение и прекращение нарушений Федеральных правил ИВП;

5. Выполнение полетов ВС, в том числе в интересах обороноспособности и безопасности государства или иная деятельность по ИВП, осуществляемые в соответствии с решениями Правительства РФ или в порядке, установленном Правительством РФ.

6. Выполнение полетов ВС или иная деятельность по ИВП, осуществляемые в соответствии со специальными договорами;

7. Выполнение полетов ВС государственной авиации при внезапных проверках боевой готовности, а так же при перебазировании частей и подразделений государственной авиации;

8. Осуществление регулярных воздушных перевозок пассажиров и багажа;

9. Выполнение полетов ВС государственной авиации;

10. Выполнение полетов ВС экспериментальной авиации;

11. Осуществление регулярных воздушных перевозок грузов и почты;

12. Осуществление нерегулярных воздушных перевозок, выполнение авиационных работ;

13. Проведение учебных, спортивных, демонстрационных и иных мероприятий;

14. Выполнение полетов ВС или иная деятельность по ИВП, осуществляемая в целях удовлетворения потребностей граждан.

### **Экономичность, регулярность и безопасность**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Безопасность использования воздушного пространства** – комплексная характеристика установленного порядка использования воздушного пространства, определяющая ее способность обеспечить выполнение всех видов деятельности по его использованию без угрозы жизни и здоровью людей, материального ущерба государству, гражданам и юридическим лицам. Из этого строгого и исчерпывающего определения следует, что *полной* безопасности быть не может, так как в любой момент может создаться непредвиденная заранее ситуация, содержащая в себе указанную угрозу. В дальнейшем мы несколько сузим и конкретизируем важное понятие безопасности, сосредоточив внимание исключительно на безопасности в сфере организации и управления воздушным движением.

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

В настоящее время в мировой практике не существует единого показателя, который позволил бы количественно оценить уровень безопасности полетов

гражданской авиации. ИКАО признает наличие в отдельных странах разнообразных показателей. Среди них:

- относительное число авиакатастроф при посадке ВС (подсчитанное за достаточно длительный промежуток времени);
- количество авиакатастроф на определенный объем перевозок ( $10^6$  тонно-километров перевезенных грузов);
- число катастроф на  $10^6$  самолето-вылетов;
- число погибших на  $10^9$  пассажиро-километров;
- средний налет на одну авиакатастрофу и др.

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

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

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

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

Вероятность авиационного происшествия может и должна быть малой величиной. В соответствии с известной теоремой о произведении вероятностей, вероятность каждого нарушения – это величина, не меньшая (а при значительном их количестве и существенно большая), нежели конечная вероятность

авиационного происшествия. Такими величинами оперировать легче, их причинно-следственные связи и соответствующие зависимости устанавливаются с большей достоверностью и лучше поддаются анализу. Поэтому для исследования безопасности целесообразно проводить *декомпозицию*, т.е. расчленение ситуации, приведшей к происшествию, на составные события (например, нарушения).

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

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

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

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

## ПРАВИЛА ПОЛЕТОВ

### Классификация полетов

Полеты ВС в ВП РФ могут классифицироваться следующим образом.

1. По правилам выполнения. Они подразделяются на полеты по правилам визуальных полетов (ПВП) и на полеты по правилам полетов по приборам (ППП).

Правила визуальных полетов подразумевают порядок выполнения полетов в условиях, позволяющих определять местоположение ВС в пространстве по наземным ориентирам и естественному горизонту, а также относительно других материальных объектов и сооружений.

Правила полетов по приборам подразумевают порядок выполнения полетов в условиях, при которых местоположение ВС в пространстве, а также положение относительно других материальных объектов и сооружений определяется экипажем по пилотажно-навигационным приборам.

2. По использованию элементов структуры ВП. Они подразделяются на трассовые, маршрутные, маршрутно-трассовые, аэродромные, районные и зональные полеты.

К трассовым полетам относятся такие, когда движение ВС происходит по воздушным трассам или по МВЛ.

К маршрутным полетам относятся такие, когда движение ВС происходит по маршрутам вне воздушных трасс и МВЛ.

Маршрутно-трассовые полеты представляют собой сочетание первых двух.

Аэродромные полеты выполняются в районе аэродрома (аэроузла) или в дополнительно выделенном ВП под управлением органа УВД аэродрома.

Районные полеты осуществляются в пределах ВП одного района ЕС ОрВД.

Зональные полеты выполняются в пределах ВП одной зоны ЕС ОрВД.

3. По метеорологическим условиям выполнения. Они подразделяются на полеты, выполняемые в визуальных метеорологических условиях и в приборных метеорологических условиях.

Полеты ВС в визуальных метеорологических условиях подразумевают метеорологические условия, выраженные в величинах дальности видимости, высоты нижней границы облаков и расстояния до облаков, при которых полет выполняется по ПВП.

Полеты ВС в приборных метеорологических условиях подразумевают метеорологические условия, выраженные в величинах дальности видимости и высоты нижней границы облаков, при которых полет выполняется по ППП.

4. По количеству воздушных судов. Они подразделяются на одиночные и групповые полеты, что не требует пояснений.

5. По времени суток. Они подразделяются на дневные, ночные и смешанные. К дневным полетам относятся полеты, выполняемые в период времени между восходом и заходом солнца. Соответственно ночные – выполняемые в период времени между заходом и восходом солнца, а смешанные, когда полеты выполняются в период времени, включающего в себя от момента взлета до посадки переход от дневного полета к ночному или наоборот.

6. По физико-географическим условиям, месту и способам выполнения. Они подразделяются на полеты, выполняемые над:

- равнинной и холмистой местностью;
- горной местностью;
- безориентирной местностью и пустыней;
- водной поверхностью;
- полярными районами.

Равнинной местностью называется местность с относительными превышениями рельефа менее 200 м в радиусе 25 км. Холмистой местностью называется местность с пересеченным рельефом и относительными превышениями рельефа от 200 м до 500 м в радиусе 25 км. Горной местностью называется местность с пересеченным рельефом и относительными превышениями 500 м и более в радиусе 25 км, а также местность с абсолютной высотой рельефа 1000 м и более. Понятие безориентирной местности означает отсутствие каких-либо наземных ориентиров, которые могли бы использоваться для визуальной навигации ВС. То же относится к пустыням и к водным поверхностям. К полярным районам относят ту часть земного шара, которая прилегает к северному и южному географическим полюсам и ограничивается полярными кругами.

7. По высоте выполнения. Они подразделяются на полеты, которые выполняются на предельно малых высотах, на малых, на средних, на больших высотах и в стратосфере. Эти понятия были описаны выше.

### **Минимумы выполнения полетов**

Минимум выполнения полетов устанавливается для аэродрома, ВС, командира воздушного судна, вида авиационных работ.

#### **Метеоминимумы ИКАО**

Таблица 2

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

- **ВПП** захода на посадку по приборам. ВПП, оборудованная визуальными средствами и каким-либо видом не визуальных средств, обеспечивающим, по крайней мере, наведение воздушного судна в направлении захода на посадку с прямой;

- **ВПП** точного захода на посадку **I категории**. ВПП, оборудованная радиомаячной системой и визуальными средствами, предназначенными для захода на посадку до высоты принятия решения 60 м и либо при видимости не менее 800 м, либо при дальности видимости на ВПП не менее 550 м;

- **ВПП** точного захода на посадку **II категории**. ВПП, оборудованная радиомаячной системой и визуальными средствами, предназначенными для захода на посадку до высоты принятия решения менее 60 м, но не менее 30 м и при дальности видимости на ВПП не менее 350 м;

- **ВПП** точного захода на посадку **III категории**. ВПП, оборудованная радиомаячной системой, действующей до и вдоль всей поверхности ВПП и предназначенной:

- **ША** - для захода на посадку и посадки с высотой принятия решения менее 30 м или без ограничения по высоте принятия решения и при дальности видимости на ВПП не менее 200 м;

- **ШВ** - для захода на посадку и посадки с высотой принятия решения менее 15 м или без ограничения по высоте принятия решения, при дальности видимости на ВПП менее 200 м, и не менее 50 м;

- **ШС** - для захода на посадку и посадки без ограничений по высоте принятия решения и дальности видимости на ВПП.

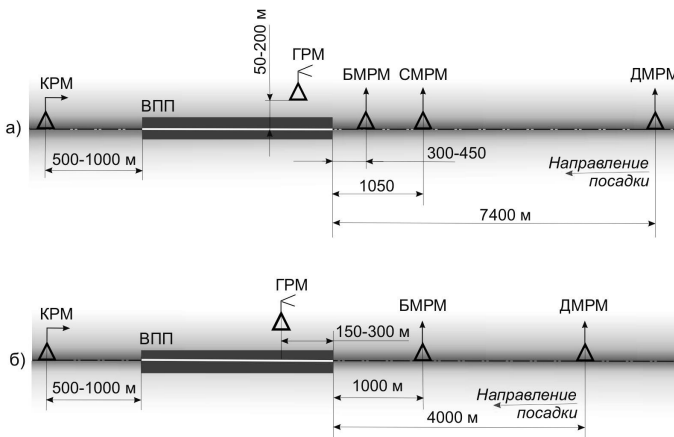


Рис. 4. Схема размещения радиомаяков: а – система ILS; б – система СП



Основными параметрами при установлении минимумов выполнения полетов являются: высота принятия решения (ВПР), минимальная высота снижения (МВС), высота нижней границы облаков, видимость на ВПП, видимость. Поясним значения введенных понятий.

**ВПР** – это высота, установленная для точного захода на посадку, на которой должен быть начат маневр ухода на второй круг в случае, если до достижения этой высоты командиром ВС не был установлен необходимый визуальный контакт с ориентирами для продолжения захода на посадку или положение ВС в пространстве или параметры его движения не обеспечивают безопасности посадки.

**МВС** – это высота, установленная для неточного захода на посадку, ниже которой снижение не может производиться без необходимого визуального контакта с ориентирами. Заметим, что неточным заходом на посадку называют заход на посадку по приборам без навигационного наведения по глиссаде, формируемой с помощью электронных средств, а точный заход подразумевает заход на посадку по приборам с навигационным наведением по азимуту и глиссаде, формируемым с помощью электронных средств.

Высотой **нижней границы облаков** называется расстояние по вертикали между земной (водной) поверхностью и нижней границей самого низкого слоя облаков. Данное определение относится к понятию «истинная высота», в отличие от понятия «абсолютная высота», относящегося к высоте, определяемой относительно уровня моря, выбранного за начало отсчета и в отличие от понятия «относительная высота», определяющегося от выбранного уровня до объекта, относительно которого производится измерение.

**Видимость (дальность видимости)** – это максимальное расстояние, с которого видны и опознаются объекты, а видимость на ВПП (дальность видимости на ВПП) – максимальное расстояние, в пределах которого пилот ВС, находящегося на осевой линии ВПП, может видеть маркировку ее покрытия или световые ориентиры, при этом за видимость на ВПП ночью принимается видимость только световых ориентиров.

**Минимум аэродрома** для взлета устанавливается по минимально допустимому значению видимости ВПП и, при необходимости, по высоте нижней границы облаков, при которых разрешается выполнять взлет на ВС данной категории. Минимум аэродрома для посадки устанавливается по минимально допустимым значениям видимости на ВПП и ВПР (МВС).

**Минимум ВС** для взлета устанавливается по минимально допустимому значению видимости на ВПП, позволяющему безопасно производить взлет на ВС данного типа. Тоже относится к минимуму ВС для посадки с добавлением минимально допустимого значения ВПР (МВС).

Аналогичные требования устанавливаются для минимума командира ВС для взлета и посадки, но, кроме этого, учитывается уровень его летной подготовки.

Обратим внимание, что в каждом конкретном случае минимумы для взлета и посадки определяются, исходя из минимума аэродрома, ВС, командира ВС по наивысшему из них.

### Безопасные высоты полета

Для обеспечения БП ВС устанавливаются:

- безопасная высота круга полетов над аэродромом;
- безопасная высота в районе аэродрома в радиусе не более 50 км от контрольной точки аэродрома (КТА), под которой понимается точка, определяющая местоположение аэродрома в выбранной системе координат;
- безопасная высота в районе аэроузла;
- безопасная высота полета ниже нижнего (безопасного) эшелона. Здесь дадим пояснение. Эшелон полета называется установленная поверхность постоянного атмосферного давления, отнесенная к давлению 760,0 мм ртутного столба (1013,12 гектопаскаля) и отстоящая от других таких поверхностей на величину установленных интервалов. Соответственно эшелон нижним (безопасным) называется ближайший к безопасной высоте полета рассчитанный и установленный эшелон полета, расположенный выше этой высоты;
- нижний (безопасный) эшелон в районе аэродрома в радиусе не более 50 км от КТА;
- нижний (безопасный) эшелон в районе аэроузла;
- нижний (безопасный) эшелон в районе ЕС ОрВД;
- нижний (безопасный) эшелон полета по ППП (ПВП).

В качестве примера приведем расчет безопасных высот (эшелонов) полета для различных ситуаций.

Расчет безопасной высоты круга полетов над аэродромом выполняется в соответствии с формулой

$$H_{\text{Бкр}} = H_{\text{ист}} + \Delta H_{\text{рел}} + \Delta H_{\text{преп}} - \Delta H_t,$$

где  $H_{\text{ист}}$  - установленное значение истинной высоты полета над наивысшим препятствием (запас высоты над препятствием) в полосе шириной 10 км (по 5 км в обе стороны от оси маршрута полета по кругу) (100 м – при выполнении полетов по ПВП и 200 м – при выполнении полетов по ППП). Заметим, что препятствием является рельеф местности, естественные и искусственные объекты на ней, представляющие угрозу безопасности ВД;

$\Delta H_{\text{рел}}$  - значение превышения наивысшей точки рельефа местности над низшим порогом ВПП в полосе шириной 10 км (по 5 км в обе стороны от оси маршрута полета по кругу);

$\Delta H_{\text{преп}}$  - максимальное значение превышения препятствий (естественные и искусственные) над наивысшей точкой рельефа местности в полосе

шириной 10 км (по 5 км в обе стороны от оси маршрута полета по кругу, округляемое до 10м в сторону увеличения);

$\Delta H_t$  - значение методической температурной поправки высотомера, которое учитывается при расчете на навигационной линейке или определяется по формуле

$$\Delta H_t = \frac{t_0 - 15}{300} \cdot H_{испр}, \quad (7)$$

где  $H_{испр} = H_{ист} + \Delta H_{рел} + \Delta H_{преп}$ ;

$t_0$  - температура воздуха на аэродроме.

При установлении высоты полета по кругу расчет  $\Delta H_t$  должен выполняться по минимальной температуре воздуха на аэродроме, отмеченной за период многолетних наблюдений.

Обратим внимание, что безопасная высота полета в районе аэроузла устанавливается по наибольшему значению безопасной высоты полета в районах аэродромов, входящих в аэроузел.

Далее последовательно рассмотрим метод расчета безопасной высоты полета ниже нижнего (безопасного) эшелона и метод расчета нижнего (безопасного) эшелона полета ВС.

Расчет безопасной высоты полета ниже нижнего (безопасного) эшелона выполняется по формуле

$$H_{\text{Бниж(без)эш}} = H_{ист} + H_{рел} + \Delta H_{преп} - \Delta H_t,$$

где  $H_{ист}$  - установленное значение истинной высоты полета над наивысшим препятствием (запас высоты над препятствием) при полетах ниже нижнего эшелона по ПВП и ППП (100 м, если полет выполняется над равнинной или холмистой местностью и водным пространством при скорости ВС 300 км/ч и менее; 200 м – если полет выполняется в тех же условиях, но при скорости ВС более 300 км/ч; 300 м, если полет выполняется в горной местности с высотой гор 2000 м и менее; 600 м – при тех же условиях, но высота гор составляет свыше 2000 м);

$H_{рел}$  - значение абсолютной высоты наивысшей точки рельефа местности на участке маршрута (МВЛ) в пределах их ширины при полетах по ПВП, а при полетах по ППП – в полосе шириной 50 км (по 25 м в обе стороны от оси маршрута или МВЛ);

$\Delta H_{преп}$  - максимальное значение превышения препятствий (естественные и искусственные) над наивысшей точкой рельефа местности на участке маршрута (МВЛ) в пределах полосы учета  $H_{рел}$  ;

$\Delta H_t$  - значение методической температурной поправки высотомера, которое учитывается при расчете на навигационной линейке или определяется по формуле (7) при условии, что  $t_0$  - температура воздуха у земли в точке минимального давления, а  $H_{испр}$  определяется в виде

$$H_{испр} = H_{ист} + \Delta H_{рел} + \Delta H_{преп}.$$

Далее перейдем к расчету нижнего (безопасного) эшелона полета. Соответствующее соотношение выглядит следующим образом:

$$H_{ниж(без)эш} \geq H_{ист} + H_{рел} + \Delta H_{преп} + \\ + (760 - P_{мин.прив.}) \cdot 11 - \Delta H_t,$$

где  $H_{ист}$  - установленное значение истинной высоты полета ВС над наивысшим препятствием (запас высоты над препятствием) (600 м);

$H_{рел}$  - значение абсолютной высоты наивысшей точки рельефа местности над уровнем моря в пределах:

- ширины маршрута (участка маршрута), воздушной трассы при полете по ПВП;
- полосы шириной 50 км (по 25 км от оси маршрута, воздушной трассы) при полете по ППП;

$\Delta H_{преп}$  - максимальное значение превышения препятствий (естественные и искусственные) над наивысшей точкой рельефа местности в пределах полосы учета  $H_{рел}$  ;

$P_{мин.прив.}$  - значение минимального атмосферного давления по маршруту (участку маршрута), воздушной трассы за пределами района аэродрома (аэроузла), приведенное к уровню моря и времени полета с учетом барометрической тенденции;

$\Delta H_t$  - значение методической температурной поправки высотомера, которое учитывается при расчете на навигационной линейке или определяется по формуле (7) при условии, что  $t_0$  - температура воздуха у земли в наивысшей точке рельефа местности, а  $H_{испр}$  определяется в следующем виде

$$H_{испр} = H_{уст} + H_{рел} + \Delta H_{преп} + (760 - P_{мин.прив.}) \cdot 11.$$

Для остальных ситуаций определения безопасных высот полета ВС, перечисленных выше, также имеются соответствующие расчетные соотношения, приведенные в нормативных документах.

Сделаем еще ряд замечаний, связанных с определением, выдерживанием и изменением высоты (эшелона) полетов ВС.

В общем случае полет выполняется на высоте (эшелоне) с учетом уровня подготовки экипажа, летно-технических характеристик и оборудования ВС, препятствий на местности, а также воздушной, метеорологической и орнитологической обстановки. Высота (эшелон) полета определяется и выдерживается экипажем ВС по барометрическому высотомеру с учетом поправок в соответствии с установленной методикой расчета.

Изменение высоты (эшелона) полета допускается только с разрешения органа УВД, осуществляющего обслуживание (управление) полета данного ВС. В этом случае командир ВС должен указать свое местонахождение, высоту (эшелон) полета и причину его изменения.

Определение и выдерживание высоты (эшелона) полета производится следующим образом:

- по давлению на аэродроме – при полетах в районе аэродрома в радиусе не более 50 км от КТА (районе аэроузла), от взлета до набора высоты перехода и от эшелона перехода аэродрома (аэроузла) до посадки. Здесь под высотой перехода понимается высота, установленная для перевода шкалы давления барометрического высотомера на стандартное давление при наборе высоты полета, а эшелоном перехода называется установленный эшелон полета для перевода шкалы давления барометрического высотомера со стандартного давления на давление аэродрома или минимальное атмосферное давление, приведенное к уровню моря;
- по приведенному давлению по стандартной атмосфере – на аэродромах, открытых для международных полетов, и горных (по запросу экипажа ВС);
- по минимальному давлению, приведенному к уровню моря – при полетах на высотах ниже нижнего (безопасного) эшелона (эшелона перехода);
- по стандартному давлению – при полетах на высотах выше высоты перехода.

В заявках на полет, в указаниях органов УВД экипажам и докладам экипажей органам УВД указывается (сообщается) высота (эшелон) полета, определяемая (выдерживаемая) в соответствии с требованиями, приведенными выше.

Для единой системы перехода на отсчет высоты (эшелона) полета устанавливаются:

- высота перехода в районе аэродрома в радиусе не более 50км от КТА;
- высота перехода в районе аэроузла;
- высота перехода в районе ЕС ОрВД;

эшелон перехода в районе аэродрома в радиусе не более 50км от КТА;  
 эшелон перехода в районе аэроузла;  
 эшелон перехода в районе ЕС ОрВД.

Расчеты высот перехода (эшелонов перехода) производятся в порядке, определенном нормативными документами, и указываются в инструкции по производству полетов в районе аэродрома (аэроузла) или в аэронавигационном паспорте аэродрома и в инструкции по ИВП зоны ЕС ОрВД для каждого района ЕС ОрВД.

## **ЭШЕЛОНИРОВАНИЕ – ОСНОВНОЙ МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Рассмотрение начнем с определений основных понятий. **Эшелонирование** – это общий термин, означающий вертикальное и горизонтальное рассредоточение ВС в ВП на установленные интервалы. В свою очередь горизонтальное эшелонирование подразделяется на продольное и боковое. Вертикальное эшелонирование подразумевает рассредоточение ВС по высоте на установленные интервалы. Продольное эшелонирование – это рассредоточение ВС на одной высоте на установленные интервалы по времени или расстоянию вдоль линии пути. Боковое эшелонирование подразумевает рассредоточение ВС на одной высоте на установленные интервалы по расстоянию или угловому смещению между их линиями пути.

Соблюдение правил и норм эшелонирования при осуществлении полетов ВС является основой обеспечения безопасности полетов. Если бы не происходило (по разным причинам) нарушение норм эшелонирования, то проблем с обеспечением безопасности полетов не возникало бы. Но все оборудование, как бортовое (радиооборудование и пилотажно-навигационный комплекс), так и наземное (радиолокационное оборудование, радионавигационное) имеет конечное значение среднеквадратических погрешностей тех или иных параметров, определяющих местоположение ВС в пространстве, его координаты. Поэтому возможно постепенное накопление суммарной ошибки местоопределения ВС в пространстве, которая в конечном итоге может привести к нарушению установленных норм эшелонирования. Контроль за соблюдением норм эшелонирования возлагается на органы УВД, которые в лице диспетчеров УВД осуществляют непрерывное слежение за каждым ВС с точки зрения соблюдения ВС установленного плана полета.

В случае возникновения тенденции у движущегося ВС к нарушению установленных норм эшелонирования диспетчер УВД обязан вмешаться в эту ситуацию и соответствующим образом информировать экипаж ВС, а также принять меры по устранению тенденции движения ВС к границам установленных для него эшелонов.

### Минимальные интервалы эшелонирования

В ВП устанавливаются минимальные интервалы вертикального, продольного и бокового эшелонирования.

#### 1. Вертикальное эшелонирование:

Таблица 3. Приложение к ФАП №138

Истинный путевой угол от 0° до 179°						Истинный путевой угол от 180° до 359°					
полеты по правилам полетов по приборам			полеты по правилам визуальных полетов			полеты по правилам полетов по приборам			полеты по правилам визуальных полетов		
эшелон полета	метры	футы	эшелон полета	метры	футы	эшелон полета	метры	футы	эшелон полета	метры	футы
010	300	1000	-	-	-	020	600	2000	-	-	-
030	900	3000	035	1050	3500	040	1200	4000	045	1350	4500
050	1500	5000	055	1700	5500	060	1850	6000	065	2000	6500
070	2150	7000	075	2300	7500	080	2450	8000	085	2600	8500
090	2750	9000	095	2900	9500	100	3050	10000	105	3200	10500
110	3350	11000	115	3500	11500	120	3650	12000	125	3800	12500
130	3950	13000	135	4100	13500	140	4250	14000	145	4400	14500
150	4550	15000	155	4700	15500	160	4900	16000	165	5050	16500
170	5200	17000	175	5350	17500	180	5500	18000	185	5650	18500
190	5800	19000	195	5950	19500	200	6100	20000	205	6250	20500
210	6400	21000	215	6550	21500	220	6700	22000	225	6850	22500
230	7000	23000	235	7150	23500	240	7300	24000	245	7450	24500
250	7600	25000	255	7750	25500	260	7900	26000	265	8100	26500
270	8250	27000	-	-	-	280	8550	28000	-	-	-
290	8850	29000	-	-	-	300	9150	30000	-	-	-
310	9450	31000	-	-	-	320	9750	32000	-	-	-
330	10050	33000	-	-	-	340	10350	34000	-	-	-
350	10650	35000	-	-	-	360	10950	36000	-	-	-
370	11300	37000	-	-	-	380	11600	38000	-	-	-
390	11900	39000	-	-	-	400	12200	40000	-	-	-
410	12500	41000	-	-	-	430	13100	43000	-	-	-
450	13700	45000	-	-	-	470	14350	47000	-	-	-
490	14950	49000	-	-	-	510	15550	51000	-	-	-
и т.д.	и т.д.	и т.д.	-	-	-	и т.д.	и т.д.	и т.д.	-	-	-

В воздушном пространстве устанавливаются минимальные интервалы вертикального эшелонирования:

а) до эшелона полета 290 - 300 м;

б) от эшелона полета 290 до эшелона полета 410:

300 м - между воздушными судами, допущенными к полетам с применением RVSM;

600 м:

между государственными и экспериментальными воздушными судами, не допущенными к полетам с применением RVSM, и любыми другими воздушными судами;

между государственными и экспериментальными воздушными судами, выполняющими полет в составе группы, и любыми другими воздушными судами;

между воздушным судном, внезапное ухудшение работы оборудования которого не обеспечивает выдерживания заданного эшелона полета, и любыми другими воздушными судами;

между воздушным судном, попавшим в зону сильной турбулентности, вызванной метеорологическими условиями или спутным следом, непосредственно влияющей на способность воздушного судна выдерживать заданный эшелон полета, и любыми другими воздушными судами;

между воздушным судном, выполняющим полет с отказавшей радиосвязью, и любыми другими воздушными судами.

Вход в воздушное пространство от эшелона полета 290 до эшелона полета 410 воздушным судам (кроме государственных и экспериментальных воздушных судов), не допущенных к полетам с применением RVSM, запрещен. Требования к эксплуатантам и оборудованию воздушных судов для получения допуска к полетам с применением RVSM, а также порядок контроля за характеристиками выдерживания высоты воздушными судами (мониторинг) устанавливается Министерством транспорта Российской Федерации. Допуск эксплуатантов и воздушных судов гражданской, государственной и экспериментальной авиации к полетам с применением RVSM осуществляется соответственно Федеральным агентством воздушного транспорта, Министерством обороны Российской Федерации, а также Министерством промышленности и торговли Российской Федерации;

## **2. Продольное эшелонирование:**

Минимальные временные интервалы продольного эшелонирования при полетах воздушных судов по правилам полетов по приборам без использования системы наблюдения обслуживания воздушного движения устанавливаются:

а) между воздушными судами, следующими на одном эшелоне (высоте) в попутном направлении:

при районном диспетчерском обслуживании и (или) диспетчерском обслуживании подхода - 10 мин.;

при аэродромном диспетчерском обслуживании при выполнении маневра захода на посадку - 3 мин.;

б) при пересечении попутного эшелона (высоты), занятого другим воздушным судном, - 10 мин. в момент пересечения;

в) при пересечении встречного эшелона (высоты), занятого другим воздушным судном, - 20 мин. в момент пересечения;

г) между воздушными судами, следующими по пересекающимся маршрутам (при углах пересечения от  $45^\circ$  до  $135^\circ$  и от  $225^\circ$  до  $315^\circ$ ) на одном эшелоне (высоте), - 15 мин. в момент пересечения.

Минимальные интервалы продольного эшелонирования при полетах воздушных судов по правилам полетов по приборам без использования системы наблюдения обслуживания воздушного движения в условиях использования контрактного автоматического зависимого наблюдения и связи "диспетчер - пилот" по линии передачи данных при движении по одному маршруту на одной высоте, по пересекающимся маршрутам на одной высоте, по одному маршруту с пересечением занятых попутных эшелонов, по одному маршруту с



пересечением занятых встречных эшелонов при районном диспетчерском обслуживании устанавливаются:

100 км - при полетах в условиях навигационного обеспечения не хуже RNP 10 и максимального интервала передачи периодического донесения контрактного автоматического зависимого наблюдения не более 22 минут;

100 км - при полетах в условиях навигационного обеспечения не хуже RNP 4 и максимального интервала передачи периодического донесения контрактного автоматического зависимого наблюдения не более 32 минут;

60 км - при полетах в условиях навигационного обеспечения не хуже RNP 4 и максимального интервала передачи периодического донесения контрактного автоматического зависимого наблюдения не более 14 минут.

### **3. Боковое эшелонирование:**

Минимальные интервалы бокового эшелонирования устанавливаются:

- при полетах воздушных судов по ППП при наличии радиолокационного контроля;

- при полетах воздушных судов по ПВП.

При отсутствии радиолокационного контроля боковое эшелонирование при полетах по ППП запрещается.

**Минимальные интервалы** бокового эшелонирования при полетах воздушных судов **по ППП** при наличии радиолокационного контроля устанавливаются:

- на воздушных трассах и маршрутах вне их при пересечении эшелона (высоты), занятого воздушным судном, следующим в попутном направлении, - не менее 10 км в момент пересечения;

- в районе аэродрома (в зоне подхода) при пересечении эшелона (высоты), занятого воздушным судном, следующим в попутном направлении, - не менее 10 км в момент пересечения, а при использовании автоматизированных систем обслуживания (управления) воздушного движения или средств вторичной радиолокации - не менее 5 км в момент пересечения;

- при пересечении эшелона (высоты), занятого воздушным судном, следующим во встречном направлении, при использовании автоматизированных систем обслуживания или средств вторичной радиолокации - не менее 10 км в момент пересечения эшелона, занятого другим воздушным судном, а при отсутствии автоматизированных систем обслуживания (управления) воздушного движения или средств вторичной радиолокации - не менее 10 км с соблюдением продольного интервала не менее 30 км;

- в зоне взлета и посадки - не менее 10 км, а при использовании автоматизированных систем обслуживания (управления) воздушного движения или средств вторичной радиолокации - не менее 5 км.

**Минимальные интервалы** бокового эшелонирования при полетах воздушных судов **по ПВП** устанавливаются:

- при обгоне впереди летящего воздушного судна на одной высоте - не менее 500 м;

- при полете воздушных судов на встречных курсах - не менее 2 км.

При одновременном использовании двух и более параллельных или почти параллельных оборудованных взлетно-посадочных полос нормы эшелонирования могут быть иные, определенные в установленном порядке.

## **Эшелонирование над океаном**

### **Североатлантические треки**

Основная статья: Североатлантические треки

Значительная часть полётов над Северной Атлантикой происходит по специальным ежедневно обновляемым маршрутам. Вертикальное эшелонирование производится по требованиям RVSM.

Минимальное продольное эшелонирование в общем случае составляет:

15 минут, или 10 минут при применении метода числа Маха, то есть при контроле скорости.

Боковое эшелонирование осуществляется в градусах широты или расстоянием:

на североатлантических треках расстояние между соседними трассами должно быть в общем случае не менее 60 морских миль (1°) при соответствии обоих воздушных судов требованиям MNPS и в пределах воздушного пространства MNPS;

### **Тихоокеанские трассы**

На тихоокеанских трассах боковое эшелонирование составляет не менее 100 морских миль. Для воздушных судов, выполняющих полёты на эшелоне полёта 290 или выше в пределах гибких систем организованных треков в районе Тихого океана (PACOTS), системы маршрутов северной части Тихого океана (NOPAC) между Соединёнными Штатами Америки и Японией, а также в пределах системы маршрутов между Гавайскими островами и западным побережьем Соединённых Штатов Америки в пределах РПИ Анкоридж океанический, Окленд океанический и Фукуока, может применяться комбинированное эшелонирование (сочетание продольного и бокового эшелонирования за счёт использования соответствующих минимумов эшелонирования, которые могут быть ниже, но не более чем на половину минимумов эшелонирования, используемых для каждого из суммарных элементов при их отдельном применении), состоящее из, по крайней мере, 93 км (50 морских миль) бокового и 300 м (1000 фут) вертикального эшелонирования.

### **Эшелонирование над океаном в России**

В России эшелонирование в зоне ответственности океанических секторов районных центров Мурманск и Магадан регламентируется циркуляром АIC 0309[13]. Вертикальное эшелонирование осуществляется по общим правилам,

продольное должно составлять не менее 10 минут (или не менее 15 минут при пересечении занятого встречного эшелона в зоне ответственности РЦ Мурманск).

## **ПЛАНИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОКОВ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ**

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

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

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

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

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

Организация воздушного движения (ОрВД) включает:

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

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

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

Планирование ВД в общем случае представляет собой разработку и реализацию совокупности мероприятий, направленных на сбор и обработку информации о характере предполагаемого ВД с целью приведения в

соответствие потребностей в ВД с пропускной способностью элементов системы УВД и создания условий, обеспечивающих безопасность полетов и экономическую эффективность, а также предпосылки для осуществления УВД с необходимым качеством.

В зависимости от длительности интервала времени, на который осуществляется планирование ВД, различают следующие виды планирования:

- предварительное;
- суточное;
- текущее.

Реализация каждого из них должна учитывать целый ряд специфических характеристик, присущих системе УВД и определяемых в зависимости от целей и задач, решаемых в процессе планирования.

Каждая авиакомпания изучает пассажиропотоки на различных маршрутах и на основе этого планирует свои рейсы (повторяющиеся планы полетов). Именно на этом этапе производится предварительное планирование. Координацией этих планов занимается Главный центр планирования и регулирования потоков ВД (ГЦ ППВД). В его задачи входит сглаживание пиков интенсивности движения на аэродромах вылета и посадки, трассах и их пересечениях путем изменения планового времени вылета и маршрутов полета. Изучая спрос авиакомпаний на определенные направления (маршруты), можно проектировать новые воздушные трассы, использование которых позволит снизить расходы авиакомпаний и повысить уровень БП.

Конечным результатом планирования ВД являются расписания движения самолетов (РДС), которые составляют с целью наиболее полного удовлетворения потребностей в воздушных перелетах на планируемый период с учетом требований экономичности и ограничений по пропускной способности аэропортов, сети воздушных трасс и диспетчерских пунктов УВД.

Полученные в результате составления РДС параметры планов полета для отдельных рейсов остаются неизменными в течение интервала времени, совпадающего с периодами действия РДС до составления новых РДС или их необходимой корректировки.

Обеспечение равномерной нагрузки на зоны УВД является одним из основных факторов, определяющих качество предварительного планирования. Неучет этого требования приводит при реализации плана движения к неравномерности распределения потоков ВД во времени и в пространстве. Неравномерность потоков создает предпосылки к возникновению ситуаций, когда в зоне УВД или части ее ВП может сложиться воздушная обстановка, приводящая к недопустимому увеличению нагрузки на диспетчеров УВД, что затруднит своевременный анализ воздушной обстановки и принятие правильных решений. Результатом этого является возникновение опасных сближений ВС.

Кроме того, с целью обеспечения БП диспетчер УВД в условиях повышенной загрузки элементов ВП вынужден назначать экономически

невыгодные для полетов эшелоны и применять другие рекомендуемые меры обеспечения БП, включая задержки ВС в зонах ожидания и на земле.

Таким образом, неравномерность распределения потоков ВД вызывает снижение значений показателей экономичности и регулярности ВД. Именно по этим причинам качество предварительного планирования оценивается, прежде всего, эффективностью использования полученных решений в процессе суточного планирования, а его качество – в процессе текущего.

При предварительном планировании ВД оказывается практически невозможно точно описать потоки ВД и полностью учесть влияние на эффективность планов движения ряда факторов (метеобстановка, состояние системы УВД, наличие и характер ограничений на ИВП и т.д.). Этот вид планирования осуществляется в условиях наибольшей неопределенности по сравнению с другими уровнями планирования.

Суточное планирование осуществляется накануне дня использования ВП. К моменту суточного планирования поступает дополнительная информация о режимах и ограничениях на воздушных трассах и аэродромах. Суточное планирование ВД по сравнению с предварительным характеризуется более высокой степенью определенности о значениях параметров учитываемых факторов. Здесь уже могут быть использованы краткосрочные (суточные) прогнозы об ожидаемом состоянии метеобстановки и системы навигации и УВД. Задачи, решаемые на уровне суточного планирования, имеют более выраженный детерминированный характер, хотя и содержат элементы случайного. Поэтому при суточном планировании оказывается возможным наиболее полно и точно оценить ожидаемую эффективность планируемого ВД как по интегральным показателям безопасности, экономичности и регулярности полетов, так и по локальным показателям, характеризующим, например, эффективность работы отдельных служб, обеспечивающих подготовку и полеты ВС.

Перечислим основные задачи, которые решаются при суточном планировании. К ним относятся:

- оптимальное распределение использования ВП с учетом интересов всех лиц (физических и юридических), подавших заявки на ИВП;
- проверка лицензий авиакомпаний на право выполнения заявленных полетов. Данная проверка связана с тем, что лицензии на право выполнения конкретных полетов имеет определенный срок действия;
- проверка задолжности авиакомпаний за аэронавигационное обслуживание;
- проверка запланированного маршрута на попадание в зоны ограничений и режимов;
- сглаживание пиков интенсивности.

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

В условиях полной определенности о потребностях в ВД и наличии известной приоритетности между группами и отдельными рейсами для суточного планирования центральным становится принцип рациональной организации потоков ВД. При этом определяющим оказывается принцип координации решений по планированию ВД в отдельных зонах УВД и между ними.

Необходимость обеспечения ряда полетов по внутрассовым маршрутам приводит к установлению соответствующих ограничений на полеты по трассам. Вводимые ограничения изменяются как в течение суток, так и при переходе от одного суточного плана к другому.

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

За час до вылета экипаж ВС должен проанализировать загрузку, метеоинформацию и аэронавигационную обстановку, рассчитать запас топлива и принять решение на вылет. За полчаса до вылета передается план полета, содержащий время вылета и маршрут полета. Эта информация передается в центры УВД по маршруту полета и в органы, осуществляющие контроль ВП. Фактический маршрут полета ВС должен соответствовать заявленному в плане (исключения составляют чрезвычайные ситуации). За соблюдение маршрута несут ответственность экипаж ВС и диспетчер УВД, контролирующий выполнение полета. Информация о принятии решения, запуске двигателей, начале руления, маршруте выхода из района аэродрома каждого рейса отображается в формулярах ожидания системы УВД. Информация о взлете передается в центры УВД по маршруту полета, где она автоматически обрабатывается и корректирует положение рейса в формулярах ожидания системы УВД. После взлета и ввода в сопровождение ведется постоянное сравнение планового и фактического маршрутов, причем по мере прохождения точек маршрута последующие плановые моменты времени корректируются и данные передаются в центры УВД по маршруту полета. Это позволяет с достаточной точностью формировать списки ожидания.

Точность списков ожидания помогает диспетчеру УВД принимать оптимальные решения для управления ВС в своей зоне. После выполнения полета в системах УВД остаются плановый и фактический маршрут полета.

Очевидно, что весь объем работ, связанный с планированием воздушного движения требует своей автоматизации. Такая автоматизация должна осуществляться с учетом рекомендаций ИКАО, которые изложены в европейском аэронавигационном плане.

Здесь необходимо учитывать и решать следующие задачи:

- взаимодействие с военными системами ОрВД РФ;
- планирование и координирование ИВП РФ и сопредельных государств;
- устранение перегрузок зон, районов и секторов УВД путем рационального планирования и упорядочения потоков ВС;

- выбор наиболее экономичных маршрутов и профилей полета с учетом интересов всех пользователей ВП;
- осуществление процессов планирования ВД и расчета аэронавигационных сборов с использованием современных средств связи;
- обмен планами полетов и аэронавигационной информацией между элементами системы планирования ВД РФ, сопредельных государств и органами организации планирования европейского региона ИКАО;
- создание единого центра для ведения общей базы аэронавигационных данных о структуре ВП России;
- создание централизованной системы сбора данных об аэронавигационном обслуживании, расчета и учета аэронавигационных сборов.

Все это подразумевает, что плановая информация должна автоматически обрабатываться в удобной форме в виде плановых таблиц, формуляров, списков ожидания и при этом включать в себя базовые (информационные), плановые, корректировочные данные, метеоинформацию и вспомогательную информацию.

Базовая информация содержит справочные данные по аэропортам, точкам, трассам, авиакомпаниям, по структуре ВП.

Плановая информация состоит из повторяющихся планов полета, предварительных планов полета и т.д.

Корректировочная информация – это информация о фактическом движении ВС (взлет, фактический пролет определенных точек, уточненное плановое время пролета точек по маршруту, уточненный маршрут полета). К этому виду информации также относятся согласование между смежными районами, информация, поступающая от военных секторов районных центров относительно ограничений ИВП.

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

К вспомогательной информации относятся сообщения NOTAM, т.е. извещение пилотам о состоянии аэронавигационного оборудования.

При этом взаимодействие с источниками и потребителями информации осуществляется по сети АФТН (AFTN – Aeronautical Fixed Telecommunication Network – стационарная сеть передачи аэронавигационной информации), по глобальным региональным и местным линиям воздушной связи.

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

- прием, обработка и выдача на рабочие места комплекса плановой и метеоинформации, информации об ограничениях и режимах ИВП, а также справочной и другой вспомогательной информации;
- вид отображаемой информации на рабочих местах;

- обеспечение взаимодействия с источниками и внешними потребителями информации;
- контроль и управление техническим состоянием оборудования;
- документирование и воспроизведение различных видов информации.

Основными источниками информации для планирования являются:

- зональные центры ЕС ОрВД;
- аэродромно-диспетчерские пункты (АДП) аэропортов;
- автоматизированные системы (АС) УВД;
- службы планирования авиакомпаний;
- службы аэронавигационной информации;
- метеокомплексы.

Подводя итог вопросам планирования воздушного движения, отметим, что система планирования в целом представляет собой информационно-вычислительную систему сетевой структуры. В процессе ее функционирования различные источники информации взаимодействуют между собой и собственно с системой обработки плановой информации (системой более низкого уровня), обеспечивающей оперативную обработку и выдачу результатов потребителям.

Информационную структуру такой АС целесообразно представить в виде соединения отдельных функциональных модулей. Согласно такой структуре выполняется техническая реализация АС обработки плановой информации. Перечислим основные модули, которые входят в соответствующую структуру.

Модуль сопряжения с источниками информации. Основная задача данного модуля заключается в обработке и представлении в определенном виде поступающей информации.

Модуль обработки и хранения информации. Данный модуль выполняет функции архивирования, администрирования и резервирования. При этом ежедневно производится резервирование данных и, кроме того, текстовое резервирование данных при аппаратных и программных сбоях, защита данных от разрушений при авариях и сбоях электропитания комплекса. Напомним, что под целостностью системы подразумеваются ее возможности самостоятельно определять нарушение режимов ее работы и наличие сбоев.

Модуль планирования полетов на аэродроме. Этот модуль создает текущий план на основании повторяющихся полетов и поступивших заявок на ИВП. В соответствии с этими данными модуль обеспечивает расчет плановой траектории в районе аэродрома.

Модуль планирования полетов по трассам. Задачей этого модуля является обеспечение расчета плановой траектории, где информация берется из плана маршрута. При изменении параметров полета ВС (времени вылета, маршрута) плановая траектория автоматически пересчитывается.

Модуль статистической обработки. Этот модуль обрабатывает выполненный план полета ВС и выдает данные для распечатки статистических выборок, а также создает базу данных для создания различных выходных форм отчетности.



Модуль сопряжения с потребителями информации. Основная задача – обеспечение взаимодействия с потребителями информации, в частности, в отношении выполнения аэронавигационного обслуживания.

### Задачи воздушной навигации

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

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

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

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

При определении координат в воздушной навигации самолет (или другой летательный аппарат) обычно рассматривается как материальная точка. Однако при решении задачи самолетовождения в частности, обнаружения и предотвращения опасных сближений, размерами ЛА пренебрегать уже нельзя, и поэтому под его координатами следует понимать координаты его центра масс или другой характерной точки.

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

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

- путем вычисления координат точек, составляющих линию движения (траекторию), по данным о координатах начальной точки траектории и измеренных компонентах скорости перемещения.

Первый способ используется в системах ближней и дальней радионавигации, спутниковых радионавигационных системах и системах позиционирования. Этим же способом определяется местоположение

подвижного объекта по данным, получаемым от бортовых радиолокационных или оптических станций и визиров.

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

## **ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ**

В общую структуру ОрВД, как указывалось выше, входит обслуживание ВД. Обслуживание воздушного движения – это общий термин, применяемый в соответствующих случаях для обозначения полетно-информационного обслуживания, консультативного обслуживания, диспетчерского обслуживания, а также для аварийного оповещения.

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

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

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

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

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

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

*Напряженность обслуживания* обусловлена рядом факторов: использованием технических средств (РНС, АС УВД, средств связи и т.д.),

конкретными особенностями структуры воздушного пространства, характеристиками воздушного движения и применяемой технологией УВД. Технология УВД оперирует понятием сложности управления, которая существенно зависит от уровня технической оснащенности (таблица 4).

Классификация воздушных трасс по уровню технической оснащенности

Таблица 4

№ п/п	Техническое обеспечение	Уровень оснащенности $\beta$
1	Радиолокационный контроль отсутствует	0
2	Первичный радиолокатор	1
3	Вторичный радиолокатор	2
4	ВРЛ с системой отображения дополнительной информации	3
5	АС УВД с мультисенсорной обработкой	4
6	АС УВД с обработкой мультисенсорной и плановой информации	5
7	АС УВД с мультисенсорной обработкой информации от РЛС и системы АЗН	6

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

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

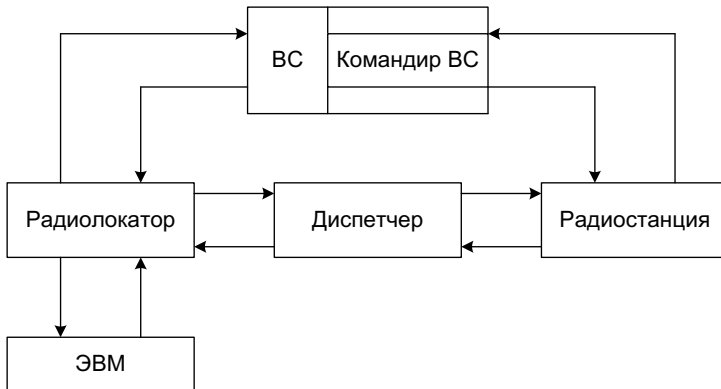
- интенсивность движения в секторе  $\lambda_z$  (по входу);
- число самолетов  $N$ , одновременно находящихся под управлением диспетчера;
- уровень насыщенности элементов сети трасс в секторе, равный отношению фактической интенсивности движения к пропускной способности  $v = \lambda_z/c$ , где  $c = \lambda_m$ .

Диспетчерское обслуживание ВД производится в целях предотвращения столкновений ВС между собой и другими материальными объектами в воздухе, столкновений с препятствиями, в том числе на площади маневрирования аэродрома, а также регулирования ВД и обеспечения его экономичности. Именно диспетчерское обслуживание ВД называется управлением ВД, так как в

РФ основным видом ОВД является диспетчерское, то дальнейшее рассмотрение будет связано только с УВД.

Процесс УВД обеспечивает достижение цели полета каждым ВС при соблюдении правил полета и режимов использования ВП, норм эшелонирования и установленного порядка движения ВС. Исполнительное управление, т.е. постоянный контроль за воздушной обстановкой и обеспечение соответствия действительных траекторий движения ВС заранее запланированным траекториям или перепланируемым в процессе полета, в зависимости от способа получения информации диспетчером УВД о действительном местоположении ВС бывает процедурным, радиолокационным или спутниковым. При процедурном управлении информация о действительном положении ВС содержится в донесениях экипажа, передаваемых по каналам авиационной воздушной связи. Саму информацию экипаж ВС получает от пилотажно-навигационного комплекса, размещенного на борту ВС. При радиолокационном управлении ВД информация о действительном местоположении ВС поступает к диспетчеру УВД от радиолокационных станций, размещенных на аэродромах и по трассе полета ВС. При спутниковом управлении ВД информация о действительном местоположении ВС поступает к диспетчеру УВД от спутниковых радионавигационных систем.

В то же время будет развиваться и процедурное управление, но на другой основе. Информацию о действительном местоположении ВС экипаж будет получать от спутниковых радионавигационных систем непосредственно на борту и транслировать эту информацию диспетчеру УВД. Данные системы, носящие название систем автоматизированного зависимого наблюдения (АЗН), в ближайшие годы будут широко внедряться в России. Отсюда следует, что будет происходить сращивание процедурных и спутниковых систем управления ВД. Диспетчер является центральным звеном в системе УВД, и поэтому любые вопросы автоматизации процессов УВД в первую очередь связаны с влиянием автоматизации на деятельность диспетчера. Роль диспетчера удобно проследить, рассмотрев простейший контур системы УВД (рис.1)



**Рис.5.** Простейший контур системы УВД

Функционирование контура, показанного на Рис.5, осуществляется следующим образом.

Получаемые с помощью радиотехнических средств УВД (средства связи, наземные радиолокационные станции – РЛС и др.) сигналы о фактическом движении ВС, описываемые некоторой функцией  $F_1(t)$ , преобразовываются и подаются на оконечные устройства, установленные на рабочем месте диспетчера (индикаторы, оконечные устройства связи, табло, мониторы и т.д.). Диспетчер воспринимает полученную информацию, расшифровывает ее, сравнивает с заданным планом  $F_0(t)$  и принимает соответствующее решение. Сигнал  $\Delta F_0 = F_1(t) - F_0(t)$ , возникающий в результате принятого решения, преобразуется и поступает на борт ВС в виде команды или информации.

На основе оценки воздушной обстановки по сигналам от других ВС, находящихся под управлением, с учетом обнаруженного отклонения  $\Delta F_0$  вырабатывается регулирующее воздействие  $\Phi$ , которое передается на объект регулирования, т.е. на ВС. При необходимости информация о новых параметрах движения данного объекта передается на взаимодействующие диспетчерские пункты и в заинтересованные органы системы УВД. Этим заканчивается очередной и начинается каждый последующий цикл регулирования в одиночном замкнутом контуре. Новое положение ВС и параметры его движения, являющиеся следствием действий экипажа на сигнал  $\Phi$ , поступивший от системы УВД, приводят к изменению показателей приборов на рабочем месте диспетчера, информируя его о правильности выполнения экипажем указаний службы УВД. В секторе УВД, контролируемом одним диспетчером, одновременно могут находиться несколько ВС, каждое из которых является

обословленным звеном в подсистеме непосредственно УВД, представляя собой объект регулирования в одиночном замкнутом контуре.

При добавлении числа контуров работа диспетчера становится все более напряженной, а при достижении определенного числа сопровождаемых ВС – невозможной. Таким образом, пропускная способность ВП в значительной мере зависит от степени загрузки диспетчера.

Временная загруженность диспетчера УВД определяется коэффициентом загруженности  $K_3$ , который вводится следующим образом

$$K_3 = \frac{T_{зан}}{T_{раб}}, \quad (8)$$

где  $T_{зан}$  - время занятости диспетчера;

$T_{раб}$  - общее время работы.

Этот показатель зависит от интенсивности ВД, под которой понимается число ВС, проходящих через определенные сечения ВП в единицу времени (обычно определенными сечениями берут границы зон, районов, секторов УВД, а в качестве единицы времени принимают 1 час); от сложности организации данного ВП, состава, формы и качества представления диспетчеру информации о воздушной обстановке. Поэтому, оценивая степень влияния автоматизации процессов УВД на  $K_3$ , можно судить о степени эффективности принятых технических решений.

Суммарное время занятости диспетчера распадается на затраты времени при выполнении отдельных операций:

$$T_{зан} = t_{св.ВС} + t_{св.д.} + t_{вз} + t_{ву} + t_{нр}, \quad (9)$$

где  $t_{св.ВС}$  - время связи с экипажами ВС;

$t_{св.д.}$  - время согласований действий с диспетчерами смежных секторов;

$t_{вз}$  - время взаимодействия с ЭВМ и другими техническими средствами;

$t_{ву}$  - время обращения к органам управления;

$t_{нр}$  - время, затрачиваемое на принятие решений.

Рассмотрим основные правила УВД и полный цикл управления движением ВС.

Управление воздушным движением осуществляют органы ЕС ОрВД или ведомственные пункты управления. Во внеаэродромном ВП эта задача решается

районными центрами (РЦ). В отдельных районах УВД для непрерывного радиолокационного контроля за движением в помощь РЦ организуются вспомогательные РЦ (ВРЦ). Общее количество РЦ и ВРЦ составляет в РФ 118.

В подавляющем большинстве случаев каждый район делится на секторы таким образом, чтобы интенсивность ВД в секторах оказалась примерно равной и не превышала бы допустимой нормы загруженности диспетчера. Общее количество секторов в РФ равно 282. РЦ и ВРЦ образуют зоны УВД, из которых 7 зон являются основными и 4 - вспомогательными зонами полетной информации. Отдельную зону представляет собой обособленный район Калининград с функциями зонального центра (ЗЦ).

На местных воздушных линиях воздушным движением управляют местные диспетчерские пункты (МДП), в районах аэродромов при полете ВС по коридорам, маршрутам набора высоты и снижения, а также в зонах ожидания - диспетчерский пункт подхода (ДПП), в зоне взлета и посадки - диспетчерский пункт системы посадки (ДПСП), включающий, как правило, диспетчеров круга и посадки, осуществляющих УВД на маршрутах захода на посадку и движением ВС по посадочной прямой.

ВПП и ближайшие подступы к ней находятся в ведении стартового диспетчерского пункта (СДП), а для управления движением по аэродрому создается диспетчерский пункт руления (ДПР).

Воздушная обстановка, с которой имеют дело органы управления низшего уровня иерархии системы УВД, складывается не стихийно, а как было показано выше, в результате планирования, которое выполняется ЗЦ УВД. ЗЦ планирует воздушную обстановку в установленной для каждого из них зоне не менее чем за 1 ч до ее реализации (текущее планирование). Источником информации для решения задач планирования ВД является, помимо постоянно действующих РДС, планы вылетов из аэропортов, которые разрабатывают аэродромные диспетчерские пункты (АДП).

Решение о перераспределении потоков ВС в масштабе всей страны принимает ГЦ ППВД, координирующий также работу ЗЦ.

Центры управления ВД, базирующиеся на одном аэродроме, как правило, располагаются в одном здании. В центры УВД входят РЦ, ДПП, ДПСП, МДП, ДПР и АДП. Для соблюдения принципа единоначалия УВД каждому диспетчерскому пункту, управляющему в контролируемом им ВП, устанавливаются рубежи приема-передачи управления таким образом, чтобы рубеж передачи управления от одного органа УВД являлся рубежом приема управления для смежного с ним органа управления, что позволит осуществить принцип непрерывности УВД. Рубежи приема-передачи УВД назначаются не только с учетом особенностей выполнения полетов в каждом ВП, но и с учетом возможностей имеющихся радиотехнических средств навигации и УВД.

Важная особенность обеспечения БП - установленный порядок распределения ответственности между командиром ВС и службой ВД. Ответственность за точное соблюдение правил полетов возложена на командира

ВС независимо от того, выполняет он полет под контролем или руководством службы УВД или самостоятельно. Командиру ВС разрешается отступать от правил полетов только при наличии условий, которые делают такие условия абсолютно необходимыми в интересах БП. Таким образом, командир ВС, а не служба движения УВД имеет право принимать окончательное решение относительно продолжения или прекращения полета ВС, а роль службы ВД сводится, за исключением особых случаев, к информированию экипажа ВС о воздушной обстановке в конкретном ВП и передаче экипажу соответствующих указаний или рекомендаций. Ни один полет не должен осуществляться без подачи в органы УВД плана полета, содержащего сведения о намеченном (планируемом) полете.

Полеты по маршруту в контролируемом ВП по ППП производятся только на эшелонах, соответствующих принятой системе эшелонирования, которые были описаны выше, а экипажи обязаны руководствоваться указаниями органов УВД.

Если экипаж ВС по каким-либо причинам намеревался перейти от полета по ППП к визуальному полету, он должен согласовать это с органами УВД.

Полеты по ППП вне контролируемого ВП должны осуществляться на попутных эшелонах, соответствующих направлению полета. При этом экипаж ВС

должен постоянно прослушивать на выделенной частоте радиосвязи диспетчера УВД, установить с ним двусторонний радиообмен, а также докладывать о времени и высоте пролета контрольных пунктов.

При вылетах с аэродрома экипажа ВС должны получить от органов УВД указания о направлении взлета и разворотов после взлета с целью выхода на нужный курс и эшелон, а также другую информацию, необходимую для безопасного полета. Для ускорения взлета может быть предложено взлетать с попутным ветром, командир ВС может принять решение совершать такой взлет под свою ответственность или запросить разрешение на взлет в более подходящем направлении. Разрешение на взлет дается, когда погодные условия не хуже установленного минимума для взлета и после того, как экипаж ВС сообщил о готовности к выполнению полета. В соответствии с рекомендациями ИКАО органы УВД должны принимать все меры, чтобы ВС, выполняющие рейсы большой протяженности, предоставлялась возможность выхода на курс следования с минимальной затратой времени и с минимальным числом разворотов и маневров.

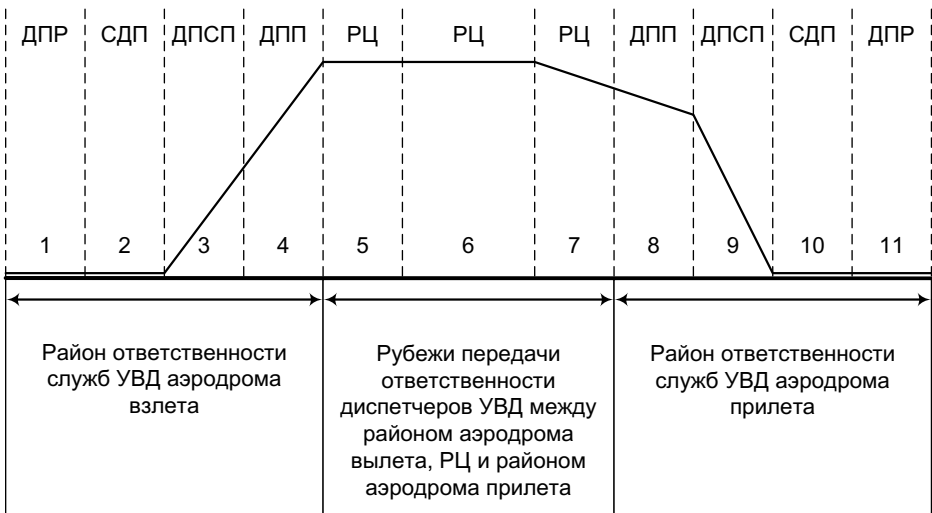
Экипажи прибывающих ВС должны информировать органы УВД о прохождении установленных пунктов донесений и сообщать сведения о полете, необходимые для регулирования потоков прилетающих и вылетающих ВС. Таким образом, правила УВД определяют общий порядок действий экипажей ВС и органов УВД при прилете и вылете ВС, полетах по маршруту при изменениях эшелона (высоты) полета и пересечении трасс, полетах в районе аэродрома. Помимо вышеуказанных эти правила включают также требования к передаче



информации органам УВД, содержанию и сбору донесений о местонахождении конкретного ВС и т.д.

Далее рассмотрим полный цикл управления движением ВС, начиная с момента начала движения ВС с места стоянки в аэропорту вылета до момента прибытия ВС на место стоянки в аэропорту прибытия.

Как отмечалось выше, ВС в полете непрерывно находятся под управлением какого-либо диспетчерского пункта службы УВД. Еще задолго до начала выполнения полета информация о нем поступает в систему УВД в виде плана полета. Экипаж ВС перед вылетом приходит к диспетчеру АДП для согласований условий полета, докладывает о готовности выполнять полет и получает диспетчерское разрешение на вылет. Полный цикл УВД состоит из трех укрупненных этапов: нахождение ВС в районе аэродрома вылета, нахождение ВС в районе действия РЦ (ВРЦ), нахождение ВС в районе аэродрома посадки. Каждый из этих этапов подразделяется на несколько районов ответственности того или иного диспетчера УВД. Все эти этапы показаны на рис.6.



**Рис. 6.** Схема управления движением самолета от взлета до посадки

В соответствии с запланированным временем вылета ВС экипаж получает от диспетчера руления (ДПР) разрешение на начало движения и условия руления от места стоянки к предварительному старту, расположенному на удалении 50-100 м от ВПП. Диспетчер старта (СДП) дает разрешение на занятие исполнительного старта и взлет. После взлета и набора высоты 200 м ВС переходит под управление диспетчера круга (ДПСП), который сообщит экипажу

условия входа ВС на траекторию набора высоты. После пролета границы района взлета и посадки управление движением осуществляет диспетчер подхода (ДПП). Однако еще до приема ВС на управление диспетчер подхода имеет информацию об этом ВС от диспетчера АДП. При установлении радиосвязи с экипажем взлетевшего ВС диспетчер подхода (ДПП) передает экипажу условия вылета из района аэродрома вылета. На этом первый укрупненный этап выполнения полета ВС заканчивается.

Диспетчер подхода согласовывает условий выхода ВС из района аэродрома вылета с диспетчером РЦ. После пролета границы района аэродрома вылета экипаж переходит под управление диспетчера РЦ, который знает фактическое положение ВС в пространстве и условия полета от диспетчера подхода. При получении сообщения экипажа ВС о входе в район УВД диспетчер РЦ уточняет его местоположение в пространстве, как правило, с помощью наземной РЛС и передает на борт ВС условия полета по трассе. В процессе УВД диспетчер РЦ должен постоянно знать местонахождение каждого ВС, находящегося в районе его ответственности и в любой момент времени передать нужную команду. Диспетчер РЦ при полетах по ППП обязан контролировать выдерживание экипажем ВС интервалов эшелонирования, а также следить за возможными отклонениями от установленных воздушных трасс. При появлении тенденций к сокращению интервалов между ВС менее допустимых (т.е. при возникновении потенциально конфликтной ситуации, которая может привести либо к летному инциденту, либо к летному происшествию) диспетчер УВД должен принять необходимые меры по предупреждению сближения.

После получения от экипажа ВС сообщения о расчетном времени выхода из района УВД диспетчер РЦ уточняет это время и не позднее чем за 10-15 мин. (ориентировочно) до выхода ВС из данного района УВД согласовывает с диспетчером смежного РЦ время и эшелон входа ВС в смежный район УВД. Этот процесс повторяется на границах между всеми смежными районами УВД, через которые ВС выполняют транзитный полет. При этом диспетчер УВД и экипаж ВС обязательно устанавливают радиосвязь при пролете границ районов УВД, пунктов обязательных донесений и при достижении заданных эшелонов. На этом заканчивается второй укрупненный этап выполнения полета ВС.

После входа ВС в район УВД, в котором расположен аэродром прилета (посадки), экипаж ВС за 5-10 мин. (ориентировочно) до начала снижения производит предпосадочную подготовку. В неё входят следующие действия:

- получение информации о метеорологической обстановке на основном и запасном аэродромах;
- расчет остатка топлива;
- расчет посадочной массы и центровки;
- определение начала сближения и безопасной высоты;
- определение элементов захода на посадку и т.д.

Разрешение на начало снижения экипаж получает от диспетчера РЦ, который, исходя из сложившейся на данный момент воздушной и

метеорологической обстановки и по согласованию с диспетчером подхода (ДПП), назначает конкретному экипажу ВС условия входа ВС в район аэродрома прилета.

После пролета границы района аэродрома посадки ВС переходит под управление диспетчера подхода, который при докладе экипажа ВС о входе ВС в район аэродрома прилета обязан опознать данное ВС с помощью наземных радиотехнических средств и передать на борт ВС информацию, необходимую для выполнения маневра захода на посадку (магнитный курс посадки, условия снижения и подхода к аэродрому посадки, направление в зону ожидания, если в этом есть необходимость и т.д.). Постоянно контролируя движение ВС, диспетчер подхода (ДПП) согласовывает с диспетчером круга (ДПСР) условия входа ВС в зону взлета и посадки. При достижении ВС установленного рубежа диспетчер подхода дает указания экипажу ВС о переходе на связь с диспетчером круга (ДПСР).

После перехода под управление диспетчера круга экипаж ВС получает от него условия захода на посадку. Диспетчер круга обязан (как и все другие диспетчеры УВД) непрерывно контролировать с помощью наземных радиотехнических средств соответствие маршрута захода на посадку установленной схеме и в случае возникновения отклонений информировать об этом экипаж ВС. Диспетчер круга согласовывает с диспетчером посадки (ДПСР) темп и место подхода ВС к предпосадочной прямой и дает экипажу ВС указания о переходе на связь с диспетчером посадки. Диспетчер посадки после выхода на связь с ним экипажа ВС определяет положение ВС относительно установленной схемы захода на посадку, информирует экипаж ВС об удалении ВС от начала ВПП.

В процессе полета ВС по предпосадочной прямой диспетчер посадки постоянно контролирует положение ВС относительно линии курса и глиссады, а при наличии отклонений дает указание экипажу ВС для выхода на заданную траекторию или сообщает экипажу ВС значения этих отклонений для принятия решения о продолжительности захода на посадку или уходе на второй круг.

После пролета ближнего приводного радиомаяка (БПРМ) с момента визуального обнаружения ВС управляет движением ВС диспетчер СДП. Диспетчер СДП до визуального обнаружения ВС постоянно прослушивает радиообмен экипажа с диспетчером посадки, убеждается, что ВПП свободна, и после выхода ВС на визуальный полет разрешает посадку, продолжая контролировать положение ВС относительно оси ВПП. После посадки диспетчер СДП наблюдает за пробегом ВС по ВПП и дает указания о порядке ухода с неё.

Освободив ВПП, ВС переходит под управление к диспетчеру руления (ДПР), от которого экипаж ВС получает информацию о порядке руления к месту стоянки в аэропорту прилета. На этом весь цикл выполнения полета ВС заканчивается.

## **Аэронавигационное обслуживание полетов.**

### **Средства аэронавигационного обслуживания.**

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

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

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

### **Оплата расходов на АНО**

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

Результаты как самих конференций, так и работы Совета ИКАО и групп экспертов стали основой для Заявления Совета договаривающимся государствам относительно аэропортовых сборов и сборов за пользование маршрутным

аэронавигационным оборудованием (Дос 9082-с/1015), а также для Руководства по экономическим аспектам аэронавигационного обеспечения на маршруте (Дос 9161-АТ/724, 1976 г.).

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

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

Компенсация расходов на АНО выполняется отдельно за обслуживание полетов по маршрутам (трассам) и в аэропортах. Оплата пользователями ВП производится по тарифам, разработанным в соответствии с международными правилами.

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БП**

В процессе выполнения полета ВС в общем потоке ВД одновременно и непрерывно решаются три задачи: пространственной стабилизации ВС относительно центра тяжести; управления полетом ВС по заданной траектории; регулирования движения ВС в общем потоке для обеспечения безопасности полетов. Первая и вторая задачи решаются бортовой системой управления и экипажем ВС, третья - системой УВД. Из сущности второй и третьей задач вытекают принципиальные различия между аэронавигацией и УВД. Аэронавигация на базе своей теории и с помощью своих методов обеспечивает выполнение полета ВС по траектории, заданной перед вылетом и откорректированной диспетчером в ходе полета.

При этом в распоряжении экипажа имеются весьма ограниченные средства и возможности для наблюдения за другими ВС в окружающем ВП, оценки обстановки и предотвращения опасных сближений. Для обеспечения БП экипаж ВС нуждается в дополнительной информации, которую он получает от диспетчера УВД в форме сообщений и команд. Система УВД, используя свою теорию, методы и технические средства (в основном радиотехнические), планирует и контролирует движение большого числа ВС. Таким образом,

безопасность воздушного движения может быть обеспечена только совместными действиями экипажа ВС и диспетчеров системы УВД.

Напомним, что безопасность использования ВП (БП) есть комплексная характеристика установленного порядка ИВП, определяющая её способность обеспечить выполнение всех видов деятельности по его использованию без угрозы жизни и здоровью людей, материального ущерба государству, гражданам и юридическим лицам.

В настоящее время в мировой практике не существует единого показателя, который позволил бы количественно оценить уровень БП ГА.

ИКАО признает наличие в отдельных странах разных показателей. Среди них:

- относительное число авиакатастроф при посадке ВС (подсчитанное за достаточно длительный промежуток времени);
- количество авиакатастроф на определенный объем авиаперевозок ( $10^6$  тонно-километров перевезенных грузов);
- число катастроф на  $10^6$  самолето-вылетов;
- число погибших на  $10^9$  пассажиро-километров;
- средний налет на одну авиакатастрофу и т.д.

Все эти показатели обладают общим недостатком, связанным с тем, что они все относятся к категории статистических показателей и носят констатирующий характер.

Одно из наиболее частых нарушений правил выполнения полетов, которые могут завершиться тяжелым авиационным происшествием, состоит в несоблюдении норм эшелонирования, приводящем к опасным сближениям ВС между собой, либо ВС с материальными препятствиями (возникновение конфликтной ситуации). Следовательно, целесообразно применять прямые критерии БП, использующие «области безопасности» (или «запретные объемы»), которые строятся около каждого ВС. Очевидно, что не каждое опасное сближение ВС заканчивается авиакатастрофой. Следовательно, если говорить о вероятности опасного сближения  $P_{oc}$ , то она выше, чем вероятность тяжелого летного происшествия, и поэтому возможность расчета  $P_{oc}$  становится более реальной.

Далее приходим к понятию потенциально-конфликтной ситуации (ПКС) – такой ситуации, которая может привести к конфликтной ситуации, т.е. к нарушению норм эшелонирования, если не изменить пространственно-временные траектории движения участвующих в ней ВС. Если ПКС обнаружена диспетчером заблаговременно, то, своевременно приняв необходимые меры и выполнив определенные действия, экипажи ВС могут устранить опасность перехода ПКС в конфликтную ситуацию. Очевидно, что частота возникновения ПКС (и соответственно вероятность ее возникновения) должна быть больше, чем для конфликтной ситуации. Это связано с тем, что ПКС может возникать в силу ряда объективных и субъективных причин, независимо от действий экипажа ВС

и диспетчера УВД. В то же время вмешательство диспетчера может устранить ПКС и она не переходит в конфликтную ситуацию.

Анализируя возможности возникновения ПКС, механизм их появления и развития, можно построить модели соответствующих процессов, позволяющие оценить частоту появления таких событий. Так как численные значения последних не столь малы, как частота авиакатастроф, то оказывается возможным применение математического аппарата теории вероятностей и математической статистики.

Так как недопущение ПКС – общая задача службы УВД и экипажа ВС, то частота появления ПКС может служить устойчивой и продуктивной мерой БП. Отсюда следует важность решения задачи автоматизации обнаружения ПКС и предотвращения перехода ее в конфликтную ситуацию, а также их учет и набор статистики.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ**

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

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

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

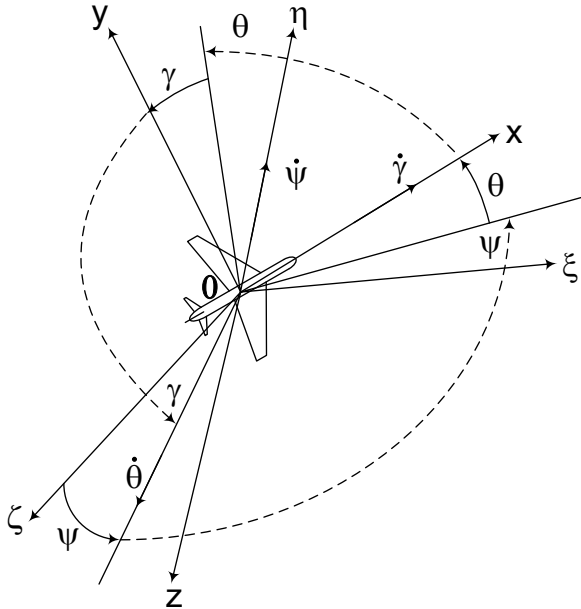
К разделу НП относят также и угловые координаты ВС, такие как курс, крен, тангаж (а в последнее время и угловая скорость разворота ВС), т.е. параметры, которые необходимы для самолетовождения.

При определении координат в воздушной навигации ВС обычно рассматривается как некоторая материальная точка. Однако при решении задачи собственно самолетовождения, в частности обнаружения и предотвращения опасных сближений, размеры ВС пренебрегать уже нельзя, и поэтому под его координатами следует понимать координаты его центра масс или другой характерной точки.

Напомним некоторые определения понятий, упомянутых выше.

Движение самолета как твердого тела в пространстве состоит из углового движения (движения вокруг центра масс) и поступательного движения (движения центра масс).

Для описания углового движения самолета вводится связанная система координат  $OXYZ$ , показанная на рис. 7.



**Рис. 7.** Угловое положение самолета в пространстве

Ось  $OX$  направлена по продольной оси самолета, ось  $OY$  – в плоскости симметрии и перпендикулярна оси  $OX$ , ось  $OZ$  – в сторону правого крыла, перпендикулярно к плоскости симметрии. Угловое положение самолета определяется тремя углами Эйлера (угловыми координатами), характеризующими положение осей связанной системы координат  $OXYZ$  по отношению к осям системы координат  $O\xi\eta\zeta$ , движущейся поступательно с центром масс ВС. Угол  $\Psi$  между осью  $O\xi$  и проекцией связанной оси  $OX$  на горизонтальную плоскость  $\xi O\zeta$  называется углом рысканья, угол  $\theta$  между связанной осью  $OX$  и плоскостью  $\xi O\zeta$  – углом тангажа, угол  $\gamma$  между плоскостью симметрии самолета  $XOY$  и вертикальной плоскостью, проходящей через связанную ось  $OX$ , – углом крена.

Поступательное движение самолета характеризуется траекторией полета, представляющей собой совокупность последовательных положений центра масс



самолета в пространстве. Проекция центра масс самолета на поверхность Земли называется местом самолета (МС), а проекция траектории полета самолета на поверхность земли – линией пути (ЛП), которая является совокупностью последовательных МС.

При выполнении полетов траектория задается как в пространстве, так и во времени. Описание заданной траектории в пространственно-временных координатах составляет навигационную программу полета.

Проекция заданной траектории на поверхность Земли называется линией заданного пути или маршрутом полета.

Путь самолета между двумя точками на земной поверхности может быть проложен по ортодромии и локсодромии, причем каждая из них имеет определенные свойства: ортодромия является линией кратчайшего расстояния между двумя точками на земной поверхности (она представляет собой дугу большого круга, проходящего через две заданные точки пути); локсодромия – это ЛП, пересекающая текущие меридианы под равными углами.

Для математического описания траекторий движения ВС применяются различные системы координат, связанные с Землей. В зависимости от расстояний полета ВС используются местные и глобальные системы координат.

Местные системы координат (декартова прямоугольная и полярная сферическая) применяются для описания траекторий полета на небольшие расстояния (десятки и сотни км), а также при взлете и посадке. Границы их применения определяются возможностью допущения о малости кривизны земной поверхности в пределах полета ВС.

Положение центра масс ВС в декартовой прямоугольной системе координат определяется линейными координатами:

- ◆  $H$  - высота полета;
- ◆  $S$  - пройденное расстояние;
- ◆  $Z$  - боковое отклонение.

В полярной сферической системе координат положение ВС в пространстве определяется тремя величинами:

- ◆ расстоянием  $R$  от начала координат до ВС;
- ◆ углом  $\rho$  между плоскостью горизонта и радиус-вектором, идущим от начала координат к ВС;
- ◆ углом  $A$  в горизонтальной плоскости между северным направлением меридиана и проекцией радиус-вектора на эту плоскость (азимутом ВС).

В практике самолетовождения эту систему координат обычно заменяют полярной плоскостной с двумя координатами МС – азимут ВС  $A$  и горизонтальная дальность  $D$ , определяемая величиной расстояния от начала координат до МС.

Глобальные системы координат применяются при описании траекторий полетов ВС на значительные расстояния, при которых пренебрежение кривизной

Земли приводит к недопустимым ошибкам в определении положения ВС в пространстве. В самолетовождении используются следующие глобальные системы координат: географическая, геосферическая и ортодромическая. На практике чаще всего применяются геосферическая и ортодромическая системы координат, в которых применяется сфера в качестве модели Земли. Геосферическая долгота  $\lambda$  определяется как угол, заключенный между двумя плоскостями начального меридиана и меридиана МС, а геосферическая широта  $\varphi$  определяется как угол, заключенный между линией отвеса в рассматриваемой точке и плоскостью географического экватора, отсчитанный от экватора к полюсу с вычетом угла  $\Delta\varphi$  между линией отвеса и направлением к центру земли.

В ортодромической системе координат за основную плоскость отсчета принимается плоскость большого круга (ортодромии). Координаты МС в ортодромической системе координат являются ортодромические долгота и широта, которые выражаются через линейные величины, т.е. через  $H, S, Z$  и  $R_3$  - радиус Земли.

Декартовы, полярные, геосферические и ортодромические координаты совместно со значениями высоты полета определяют пространственное место самолета и называются параметрами положения самолета.

Далее рассмотрим параметры движения ВС. Основным параметром, определяющим направление движения ВС, является курс-угол, отсчитываемый по часовой стрелке между направлением меридиана и проекцией продольной оси ВС на плоскость горизонта. В зависимости от меридиана, используемого в качестве линии отсчета (географический, магнитный, компасный), различают истинный (ИК), магнитный (МК) и компасный (КК) курсы. МК отличается от ИК на величину магнитного склонения  $\Delta M$ , КК – от МК на величину магнитной девиации  $\Delta K$ .

На практике курс измеряют относительно условных меридианов, представляющих собой условные направления, относительно которых в данном полете удобно определять условное положение ВС на линии пути. Такой курс называется условным (УК). При полете по ортодромии истинный меридиан, проходящий через начальную точку участка ортодромии, принимают за условный меридиан и называют опорным. Во всех точках ортодромии, кроме точки, лежащей на опорном меридиане, УК будет отличаться от истинного на угол

$$\Delta\alpha = UK - ИК,$$

Угол  $\Delta\alpha$  является азимутальной поправкой, а  $UK$ , отсчитываемый от опорного меридиана ортодромического участка, – ортодромическим курсом (ОК).

Для выполнения полетов при самолетовождении необходимо знание скорости полета. Различают истинную, воздушную, индикаторную, путевую и

вертикальную скорости полетов ВС.

Истинная воздушная скорость  $V$  - это скорость движения ВС относительно воздушной среды. Она зависит от тяги двигателя, аэродинамических качеств ВС, его полетного веса и плотности воздуха. Для характеристики движения ВС относительно набегающего потока воздуха вводится скоростная система координат  $OX_1Y_1Z_1$ , связанная с вектором воздушной скорости  $V$ . Направление оси  $OX_1$  этой системы координат совпадает с направлением вектора  $V$ , ось  $OY_1$  перпендикулярна к оси  $OX_1$  и расположена в вертикальной плоскости, проходящей через ось  $OX_1$ , ось  $OZ_1$  перпендикулярна к плоскости  $X_1OY_1$  и направлена в сторону правого полукрыла. Положение скоростной системы координат  $OX_1Y_1Z_1$  по отношению к связанной с ВС системой координат  $OXYZ$  определяется углами  $\alpha$  и  $\beta$ .

Угол  $\alpha$  между проекцией вектора скорости  $V$  на плоскость симметрии самолета  $XOY$  и связанной осью  $OX$  называется углом атаки, угол  $\beta$  между вектором  $V$  и плоскостью  $XOY$  - углом скольжения.

Индикаторная скорость  $V_u$  - скорость набегающего воздуха, при которой в условиях стандартной плотности воздуха  $\rho_0$  (на высоте  $H = 0$ ) создается тот же скоростной напор, что и на заданной высоте полета ВС. Скоростной напор при движении ВС у поверхности земли равен

$$q_0 = \frac{\rho_0 \cdot V_u^2}{2},$$

а на заданной высоте полета ВС

$$q_0 = \frac{\rho_n \cdot V^2}{2},$$

отсюда получаем

$$V_u = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_0}} \cdot V.$$

Индикаторную скорость, фиксируемую измерительным прибором (указатель скорости), часто называют приборной скоростью. Этим терминологически отражается факт наличия различных погрешностей при измерении индикаторной скорости техническими средствами. Индикаторная (приборная) скорость, в отличие от истинной, характеризует не скорость движения ВС относительно воздушной среды, а величину скоростного напора,

воздействующего на ВС. Следовательно, индикаторная скорость несет в себе информацию о величине аэродинамических сил, действующих на ВС, которые также пропорциональны скоростному напору. Поэтому приборная скорость связана с такими характеристиками самолетождения, как устойчивость и управляемость, т.е. ее знание необходимо для обеспечения пилотирования ВС. Именно на индикаторную (приборную) скорость налагаются ограничения по максимально допустимому значению из условия обеспечения прочности ВС, т.к. аэродинамические нагрузки на конструкцию ВС при полете также пропорциональны скоростному напору.

Путевая скорость  $W$  - горизонтальная составляющая скорости движения ВС относительно земли, зависящая от истинной воздушной скорости  $V$  и направления ветра.

ВС относительно воздушной среды перемещается под действием силы тяги двигателя в направлении своей продольной оси. Величина скорости и направление такого перемещения определяются вектором  $V$ . В то же время воздушная среда перемещается относительно земли и это перемещение называется ветром. Скорость и направление ветра характеризуется вектором  $U$ .

Угол между направлением, принятым за начало отсчета курса ВС, и направлением ветра называют навигационным направлением ветра (НВ) и отсчитывают от соответствующего меридиана по часовой стрелке и он может быть истинным, магнитным и условным.

ВС, перемещаясь одновременно относительно воздушной среды и вместе с ней, совершает сложное движение относительно земли, которое определяется величиной и направлением путевой скорости, т.е. вектором  $W$ , представляющим собой геометрическую сумму горизонтальных составляющих вектора  $V$  и вектора  $U$ , что показано на рис. 5.

Векторный треугольник, образованный векторами  $W$ ,  $V$  и  $U$  называют навигационным треугольником скоростей, а угол между северным направлением меридиана  $N$  и направлением вектора  $W$  - путевым углом (ПУ) полета. В зависимости от меридиана, принятого за начало отсчета, различают истинный путевой угол (ИПУ), магнитный (МПУ) и условный (УПУ).

Углы, связанные с векторами  $U$  и  $W$ , называются:

- ♦ курсовой угол ветра (КУВ) – угол между продольной осью ВС и направлением вектора ветра  $U$ ;
- ♦ угол ветра (УВ) – угол между направлением векторов  $U$  и  $W$ ;
- ♦ угол сноса (УС) – угол между продольной осью ВС и направлением ветра  $V$ ; он отсчитывается от продольной оси ВС (вектор  $W$ ) вправо со знаком «+» и влево со знаком «-».

ПУ, КУВ и УВ отсчитываются от направления отсчета по часовой стрелке в пределах  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$ .

Навигационный треугольник скоростей используется для основных вычислительных операций, необходимых для обеспечения навигации ВС.

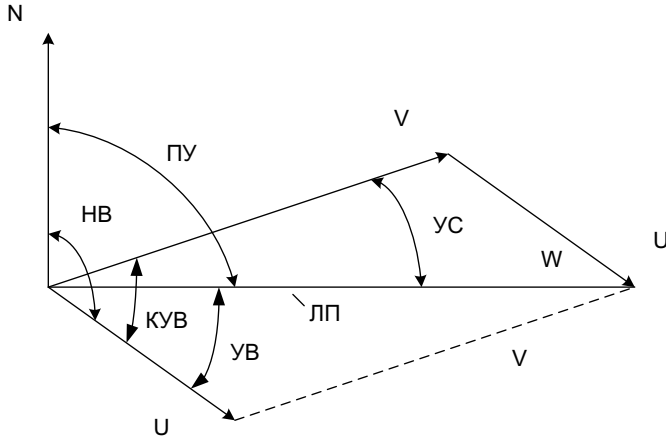


Рис. 8. Навигационный треугольник скоростей

Вертикальная скорость  $V_e$  - это вертикальная составляющая скорости движения ВС относительно Земли. Она может быть интерпретирована, как скорость изменения высоты полета ВС, т.е.

$$V_e = \frac{dH}{dt}.$$

Ввиду незначительности влияния вертикальных перемещений воздуха на ВС вертикальная скорость  $V_e$  практически совпадает с вертикальной составляющей истинной воздушной скорости  $V$ .

Обратим внимание, что при решении ряда задач пилотирования используется безразмерная характеристика скорости полета ВС - число  $M$ , равное отношению истинной воздушной скорости ВС к скорости звука при данной температуре  $V_3$ , т.е.

$$M = \frac{V}{V_3}.$$

Все перечисленные выше параметры определяют положение ВС в пространстве и его скоростные характеристики. Определение этих параметров в полете ВС и поддержание их в требуемых пределах составляет суть процесса

самолетовождения. Соблюдение основных правил самолетовождения, изложенных в соответствующих нормативных документах ГА, позволяет поддерживать необходимый уровень БП. В то же время, знание этих параметров для конкретных видов ВС позволяет заранее прогнозировать пропускную способность зон УВД и рассчитывать максимально возможную интенсивность движения, допустимую для данной зоны УВД с точки зрения загруженности диспетчеров.

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

- ◆ путем их прямого вычисления на основе геометрических соотношений при измерении дальности и азимута (или курсового угла) точек с известными координатами, могут использоваться высоты и азимуты светил, одновременно измеренные дальности до нескольких (не менее трех) ИСЗ, координаты которых известны;
- ◆ путем вычисления координат точек, составляющих линию движения (траекторию), по данным о координатах начальной точки траектории, измеренных компонент скорости и перемещения.

Первый способ используется в системах ближней и дальней радионавигации, в спутниковых радионавигационных системах и системах позиционирования. Этим же способом определяется положение ВС по данным, получаемым от бортовых радиолокационных станций и визиров.

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

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УВД**

Для качественной и эффективной организации воздушного движения необходимо в максимальной степени автоматизировать все процессы, связанные с ОрВД.

Немаловажную роль для решения указанной задачи играют автоматизированные системы УВД.

В последнее десятилетие ядром оборудования центров УВД стали автоматизированные системы, которые разделились на аэродромные, аэроузловые и районные. Современная АС УВД является информационно-вычислительной системой сетевого типа и ее важнейшим свойством является открытость. Под открытостью в широком смысле понимается свойство адаптируемости системы к конкретным условиям эксплуатации, возможность расширения как состава технических средств в нее входящих, так и ее функций. В связи с этим появилась возможность принять в качестве базовой аэродромно-районную автоматизированную систему УВД (АРАС УВД), которая в зависимости от конкретных условий может быть реконфигурирована как в районную, так и в аэродромную систему.

АРАС предназначена для обеспечения БП, повышения экономичности и регулярности полетов авиации различных ведомств в районе аэродрома, на воздушных трассах и во внутрассовом ВП путем автоматизации процессов текущего планирования, сбора, обработки и отображения радиолокационной информации (в перспективе информации, полученной по каналам АЗН) и метеоинформации.

В соответствии со своим назначением такие системы должны решать следующие основные задачи:

- прием, обработка и отображение информации, в том числе радиолокационной, радиопеленгационной, плановой, аэронавигационной, справочной и вспомогательной, а также данных о техническом состоянии и режимах работы оборудования периферийных объектов и каналов передачи данных;
- передача информации внешним пользователям по каналам авиационной наземной сети передачи данных и телеграфных сообщений;
- обеспечение взаимодействия с периферийными объектами, со смежными АС и комплексами УВД, метеорологическими комплексами и системами, а также с объектами и системами технологического взаимодействия органов ЕС ОрВД (службы аэропортов, авиакомпаний, военные секторы, органы УВД района или аэроузла, органы УВД смежных зон или центров УВД и др.);
- обеспечение обучения и тренировки диспетчерского состава;
- осуществление контроля и управления техническим состоянием оборудования системы;
- документирование и воспроизведение различных видов информации;
- информационная поддержка расчетов по сборам за аэронавигационное обслуживание.

В соответствии с перечисленными задачами, которые должна решать АРАС УВД, к ней предъявляются следующие требования по технико-эксплуатационным характеристикам:

- АРАС должна обеспечивать решение задач управления и обеспечения ВД в зонах ответственности центра УВД, объем контролируемого ВП которого составляет по высоте от 0 до 20000 м, а в плане – до  $2000 \times 2000$  км ( $4 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>);
- непрерывный радиолокационный контроль за движением ВС в пределах зон видимости РЛС;
- автоматическое сопровождение ВС в пределах зон обзора РЛК по данным, поступающим от АПОИ ПРЛ, ВРЛ, ПРЛ-ВРЛ (режимы УВД России и ИКАО), а также экстраполяция движения ВС;
- максимальное количество сообщений о целях, получаемых за период обновления информации от всех РЛК, должно быть не менее 1000;

- максимальное количество одновременно сопровождаемых третичных треков ВС по сигналам ПРЛ, ВРЛ, ПРЛ-ВРЛ должно быть не менее 300;
- прием, хранение, обработка планов ВД и отдельных формализованных сообщений о плановой информации по стандартам ИКАО и России;
- управление командной и внутривоздушной радиосвязью, средствами обеспечения речевой телефонной связью и взаимодействие с внешними сетями и системами речевой связи;
- взаимодействие с объектами ЦКС авиационной наземной сети передачи данных и телеграфных сообщений, смежных АС и комплексами УВД и АС планирования ВД ЗЦ;
- синхронизация всех систем и оборудования, а также внешних потребителей с погрешностью не более 0.01 с;
- передача информации и данных с радиолокационных и радиопеленгационных позиций, от радиосвязных приемопередающих центров по каналам (линиям) связи (радиоканалы, физические линии, магистральные каналы связи и др.) в центр УВД, а также обмен данными между центрами УВД в многоканальном режиме.

Уровень надежности оборудования, входящего в состав АРАС, для решения поставленных задач, должен характеризоваться следующими показателями:

- наработка на отказ – не хуже 6000 ч.;
- коэффициент готовности – не менее 0.999.

В перспективных АРАС УВД должна обеспечиваться возможность их наращивания и сопряжения в системах АЗН и цифровыми линиями передачи данных.

В АРАС, как в открытой системе, должна обеспечиваться возможность корректировки и отладки параметров подсистемы планирования, настраиваемых параметров картографической информации при ее адаптации к конкретной зоне УВД, а также в процессе эксплуатации.

Типовая структура АРАС УВД приведена на рис.8.





**Рис. 9.** Структура типовой APAC УВД

На рис.9 показаны следующие подсистемы:

- подсистема обработки и отображения информации – комплекс средств автоматизации (КСА УВД);
- подсистема связи и передачи данных при взаимодействии с источниками информации и смежными (периферийными) системами и центрами УВД - комплекс средств передачи радиолокационной, пеленгационной, речевой и управляющей информации;
- подсистема обеспечения метеорологической информацией;
- подсистема обработки плановой и аэронавигационной информации или комплекс средств автоматизации планирования ВД (КСА ПВД);
- подсистема синхронизации – система точного времени (на рис. 8 не показана);
- система коммутации речевой связи;
- подсистема отображения справочной и вспомогательной информации;
- подсистема документирования радиолокационной, речевой информации и данных об ИВП;
- подсистема обучения и тренировки специалистов УВД – комплексный диспетчерский тренажер;
- пультное оборудование для организации автоматизированных рабочих мест (АРМ) специалистов УВД и технического персонала универсальных пультов.

В перспективную APAC входит также подсистема автоматического зависимого наблюдения в вещательном диапазоне (АЗН - В), включая транспондер и линию передачи данных режима 4.

Конструкция системы позволяет наращивать количество других источников информации (в том числе удаленных), таких как трассовые и аэродромные РЛК, первичные ОРЛ-Т, ВОРЛ, ПРЛ, АРП.

Система имеет модульную структуру. Аппаратная часть модулей, составляющих АРАС, выполнена на основе стандартных вычислительных средств, средств отображения, бесперебойного питания, ввода-вывода, сетевого и коммутационного оборудования массового промышленного производства.

АРАС обеспечивается аппаратурой технического управления и эффективными средствами контроля работоспособности модулей и элементов системы. В ней предусмотрено автоматическое переключение отказавших функциональных элементов на резервные. Тестовый аппаратный контроль и диагностика охватывают все технические устройства.

В АРАС, как в информационно-вычислительной системе сетевого типа, постоянная информация и программное обеспечение комплексов и подсистем защищены от несанкционированного доступа. При передаче информации используются средства защиты от ошибок. Функционирование АРАС в целом, а также ее комплексов и технических средств защищено от ошибочных действий операторов.

Отдельно рассмотрим вопросы, связанные с автоматизацией принятия решений, так как эта функция органов УВД (диспетчеров) является важнейшей для обеспечения заданного уровня БП.

Необходимое условие автоматизации решения задач УВД состоит в соблюдении существующей технологии действий диспетчера, которая была описана выше. Она, в свою очередь, сводится к описанию алгоритмов действий диспетчера в сложившейся ситуации. Степень автоматизации АС УВД зависит от количества описанных в системе условий. Реакция системы на сложившиеся условия может быть трех типов:

- сигнализация наступления события, которая может сопровождаться выдачей соответствующих расчетов и параметров;
- выдача рекомендаций по действиям диспетчера в сложившейся ситуации;
- автоматическое действие системы, направленное на разрешение сложившейся ситуации.

Для автоматизации принятия решений в ряде современных АС УВД реализованы следующие функции:

- обнаружение и сигнализация конфликтных ситуаций между ВС;
- прогнозирование воздушной обстановки и сигнализация ПКС между ВС;
- обнаружение и сигнализация достижения минимальной безопасной высоты;
- согласование условий входа/выхода ВС между смежными диспетчерскими пунктами;
- сигнализация прохождения контрольных точек;

- сигнализация пересечения рубежей приема/передачи;
- сигнализация пересечения/попадания в зоны запретов и ограничений;
- расчет и предложение оптимальной очередности захода ВС на посадку;
- сигнализация нарушений параметров установленной траектории при заходе ВС на посадку;
- корректировка плановой информации по фактическим (например, радиолокационным) данным как в рамках одной системы, так и между смежными центрами УВД;
- присвоение/предложение свободных кодов ВРЛ воздушным судам, входящим в зону действия РЛК для избегания повторяющихся кодов.

Расширение круга задач, подлежащих автоматизации, связано с реализацией концепции ИКАО CNS/ATM в РФ.

Еще одной важнейшей задачей по обеспечению БП, подлежащей автоматизации, является функция предотвращения столкновений одного ВС с другим.

Проблема предотвращения столкновений ВС имеет три фазы своего решения.

Первая – обнаружения и сигнализации об угрозах столкновений. Вторая состоит в выработке управляющих команд. Очевидно, что операции, относящиеся к третьей фазе, должны исполняться экипажем ВС как в ручном, так и, возможно, в автоматическом режиме. Что же касается двух первых фаз, то операции по ним могут проводиться как на земле, так и на борту ВС, но обязательно с помощью автоматизированных средств наблюдения, связи и обработки информации.

Определяющим для выбора варианта решения задачи является наличие полной информации о ВС в той области ВП, где создалась угроза столкновения.

Пока не существовало бортовых средств обнаружения опасных сближений, единственным способом разрешения потенциально конфликтной ситуации было диспетчерское управление при радиолокационном контроле. Создание бортовых средств наблюдения воздушной обстановки и оснащения ими ВС существенно изменило положение. К таким бортовым средствам относятся комплексы радиотехнических и вычислительных средств, получивших название бортовых систем предотвращения столкновений. Ныне существует ряд систем, объединенных общим названием ACAS (Airborne Collision Avoidance System), из которых наибольшее распространение получили системы типа TCAS – II (Traffic Alert and Collision Avoidance System). Подробное описание работы этой системы и взаимодействие с ней экипажа приводится в учебной дисциплине «Радиолокационные системы» и здесь не рассматриваются. Здесь же кратко остановимся на изменениях, связанных с взаимодействием экипажа ВС и диспетчера УВД, если на борту ВС имеется система TCAS – II.

Пилоты ВС выполняют только те маневры, которые соответствуют визуальным и речевым предупредительным и корректирующим рекомендациям TCAS – II.

Диспетчер службы УВД при получении информации от пилота о выполнении маневра в соответствии с рекомендациями TCAS – II воздерживается от указаний, которые противоречат этим рекомендациям.

Ответственность за выдерживание норм эшелонирования ВС, участвующих в разрешении конфликта по командам TCAS – II, вновь возвращается диспетчеру УВД после наступления следующих событий:

- диспетчер подтвердил получение от пилота донесения о том, что его ВС снова вернулось на заданную траекторию;
- диспетчер подтвердил получение от пилота донесения о том, что его ВС возобновляет выполнение текущего диспетчерского разрешения, но выдает альтернативное, которое подтверждено экипажем ВС.

Для TCAS – II, в которых обнаружение угрозы столкновений и выработка координированных маневров по устранению этой угрозы производится автономно, нет необходимости использования диспетчерского управления и обмена информацией с Землей, что повышает оперативность принятия и исполнения решений. В связи с этим, при равной степени наблюдаемости, т.е. при одинаковых погрешностях их измерений, предпочтение должно быть отдано бортовым, а не наземным системам предупреждения столкновений. На практике же из-за неполной степени наблюдаемости (в TCAS – II не измеряются курсовые углы), вычислительных ограничений и сложности отображения вырабатываются команды по маневру ВС только в вертикальной плоскости.

Всю остальную информацию об АС УВД можно почерпнуть из учебной дисциплины, которая так и называется - «Автоматизированные системы управления воздушным движением».

## Литература

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Учеб. Пособие / А.Р. Бестугин, М.А. Велькович, А.В. Володягин и др. – СПб.: Политехника, 2014. – 450с.
2. "Воздушный кодекс Российской Федерации" от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 03.08.2018) (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.08.2018)
3. Приказ Минтранса РФ от 17.07.2008 N 108 (ред. от 23.06.2009) "Об утверждении Федеральных авиационных правил "Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации"
4. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 13.06.2018) "Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации"
5. Приказ Минтранса России от 25.11.2011 N 293 (ред. от 14.02.2017) "Об утверждении Федеральных авиационных правил "Организация воздушного движения в Российской Федерации"