

Министерство транспорта Российской Федерации (Минтранс России)
Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация)
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации»

С. Б. Модестов, К. А. Куц

Основы аэронавигации

Учебное пособие



Санкт-Петербург

2017

Министерство транспорта Российской Федерации (Минтранс России)
Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация)
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации»

С. Б. Модестов, К. А. Куц

Основы аэронавигации

Учебное пособие

Допущено УМО по образованию в области аэронавигации в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки дополнительного профессионального образования

Санкт-Петербург

2017

Ш87 (03)

Модестов С. Б., Куц К. А. Основы аэронавигации: Учебное пособие/Университет ГА.С-Петербург, 2017. 58 с.

Изложены основные навигационные понятия, принципы аэронавигации, основные сведения из геоинформационных основ навигации и особенности использования навигационного оборудования вертолѐта Ми-8.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки дополнительного профессионального образования.

Ил. 79, библиограф. 10 назв.

Рецензенты:

Ф. И. Отчество,

Ф. И. Отчество

Оглавление

Предисловие	4
1. Введение в аэронавигацию	6
1.1. Предмет и задачи аэронавигации.....	6
1.2. Классификация средств навигации.....	6
1.3. Современная аэронавигация.....	8
2. Геоинформационные основы навигации	10
2.1. Форма и размеры Земли.....	10
2.2. Географическая система координат.....	12
2.3. Единицы измерения, используемые в аэронавигации.....	13
2.4. Системы координат используемые в аэронавигации.....	13
2.5. Аэронавигационные карты.....	15
2.6. Измерение времени.....	17
3. Основы аэронавигации	18
3.1. Основные навигационные понятия.....	18
3.2. Учёт ветра в полёте.....	18
3.2. Основные принципы аэронавигации.....	21
4. Применение геотехнических средств аэронавигации	23
4.1. Измерение курса воздушного судна.....	23
4.2. Измерение высоты полёта.....	25
4.3. Измерение воздушной скорости.....	26
4.4. Измерение путевой скорости.....	27
4.5. Измерение вертикальной скорости.....	27
5. Применение радиотехнических средств аэронавигации	28
5.1. Классификация радиотехнических средств аэронавигации.....	28
5.2. Применение автоматического радиокompаса.....	28
5.3. Применение радиопеленгаторов.....	30
5.4. Применение радиомаяков VOR DME.....	31
5.5. Применение спутниковых навигационных систем.....	32
6. Выполнение полёта по маршруту и в районе аэродрома	34
6.1. Основные правила аэронавигации.....	34
6.2. Этапы полёта.....	34
6.3. Этапы захода на посадку.....	36

7. Штурманская подготовка к полёту	36
7.1. Организация штурманской подготовки	36
7.2. Состав штурманской подготовки	36
7.3. Штурманский бортовой журнал и рабочий план полёта	40
7.4. План полёта, подаваемый в службу ОВД	42
8. Безопасность аэронавигации	44
8.1. Предотвращение рисков в процессе аэронавигации	44
8.2. Предотвращение потери ориентировки	44
8.3. Безопасные высоты полёта	44
8.4. Система раннего предупреждения о близости земли.....	47
8.5. Предотвращение столкновений ВС в воздухе	50
8.6. Предотвращение попадания воздушных судов в зоны с опасными метеорологическими явлениями.....	52
9. Особенности аэронавигации вертолётов	53
9.1. Общие сведения о вертолётах	53
9.2. Аэронавигация вертолётов	53
Заключение	57
Литература	58

Предисловие

Работа службы обслуживания воздушного движения (ОВД), как впрочем, и всего комплекса, обслуживающего работу гражданской авиации, очень актуальна и важна. От слаженности и чёткости работы, в первую очередь, службы ОВД, напрямую зависит:

- *регулярности полётов;*
- *безопасность полётов;*
- *расширение объёма работ гражданской авиации;*
- *повышение экономических показателей, такого необходимого для России, вида транспорта, как гражданская авиация.*

Часть I. Основы навигации

1. Введение в аэронавигацию

1.1. Предмет и задачи аэронавигации

Аэронавигация – это наука о точном, надёжном и безопасном вождении воздушных судов из одной точки земной поверхности в другую.

Основными задачами экипажа (пилота) воздушного судна гражданской авиации в отношении навигации являются следующие элементы:

- *точное выдерживание полёта по установленной трассе (маршруту) на заданной высоте и с выдерживанием такого режима полёта, который обеспечивает его выполнение;*

- *определение навигационных элементов, необходимых для выполнения полёта;*

- *обеспечение прибытия воздушного судна в заданный район полётов, в заданный пункт или аэродром назначения в заданное время и выполнение безопасной посадки;*

- *обеспечение безопасности в течение всего времени выполнения полёта.*

1.2. Классификация средств навигации

Для решения данных задач в полёте используются самые различные средства.

По месту расположения и использования технические средства подразделяются на бортовые и наземные. По характеру использования технические средства делятся на автономные и неавтономные.

Автономные средства – средства, не требующие специального наземного оборудования;

Неавтономные средства (или наземные) – средства, которые выдают информацию на основе взаимодействия со специальными наземными устройствами.

По принципу действия технические средства подразделяются на:

Геотехнические средства – определяющие самые различные параметры естественных (геофизических полей Земли).

К данным средствам относятся:

- *Магнитные компасы;*

- *Барометрические высотомеры;*

- *Указатели воздушной скорости полёта;*

- *Бортовые часы;*

- *Гироскопические компасы;*

- *Курсовые системы;*

- *Указатели вертикальной скорости и поворота;*

- Инерциальные системы и т. д.

Данные средства могут быть автономными или использоваться с другими техническими средствами.

Радиотехнические средства – основаны на измерении параметров электромагнитных полей, излучаемых различными специальными средствами, находящимися на борту воздушного судна или непосредственно на Земле. К данным средствам относятся:

- Автоматические радиоконпасы;*
- Связное радиооборудование воздушных судов;*
- Радиовысотомеры;*
- Радиолокационные станции (РЛС) на борту ВС и наземные РЛС;*
- Доплеровские измерители путевых скоростей и углов сноса;*
- Наземные радиопеленгаторы;*
- Приводные и радиовещательные станции;*
- Радиомаяки и маркеры и многое другое.*

Самолётное/вертолётное/радионавигационное оборудование и наземное радиотехническое оборудование образуют так называемые системы навигации. В практике существуют системы дальней навигации (свыше 1000 км), ближней навигации (до 1000 км) и специальные системы посадки.

Радиотехнические средства эффективно применяются на больших высотах полёта и широко применяются в сложных метеорологических условиях полёта, при выполнении полётов ночью, а также при точных и неточных методах захода на посадку.

Астрономические средства навигации основаны на использовании расположения небесных светил. К данной группе средств относятся:

- Астрокомпасы;*
- Авиационные секстанты;*
- Астрономические ориентаторы.*

Светотехнические средства основаны на использовании бортовых или наземных источников света. К данной группе относятся:

- Светомаяки и светомаячные группы;*
- Огни посадочных систем;*
- Комплексы индикации визуальной глиссады;*
- Проектора;*
- Пиротехнические средства;*
- Световые ковры и световые знаки.*

1.3. Современная аэронавигация

Основой успешной воздушной навигации является комплексное применение технических средств, что говорит об обязательном применении нескольких средств, с осуществлением постоянного контроля счисления пути движения воздушного судна. При применении комплекса средств постоянно уточняется местоположение ВС относительно нескольких выбранных средств навигации, что в значительной мере исключает группы ошибки, повышает точность и надёжность навигации.

При использовании комплексных методов навигации необходима чёткая и надёжная работа технических средств. В свою очередь, экипажам необходимо знать принципы работы технических средств и уметь применять их в практической деятельности при выполнении полётов.

Современные воздушные суда последнего поколения оснащены высокоавтоматизированными бортовыми пилотажно-навигационными комплексами, а кроме того – бортовыми компьютерными системами, значительно облегчающими процесс навигации воздушных судов. Но это ни в коей мере не снимает ответственность с экипажей в отношении чёткой и надёжной работы в отношении воздушной навигации, обеспечивающей безопасность и эффективность работы всего комплекса гражданской авиации.

В значительной мере получили широкое развитие автоматические системы, обеспечивающие заход на посадку в сложных метеорологических условиях. Для этого разрабатываются и вводятся в эксплуатацию современные навигационно-посадочные системы современных аэропортов и бортовое оборудование воздушных судов, обеспечивающее высокую эффективность и надёжность, а также регулярность, точность, безопасность полётов воздушных судов.

В последние годы широкое применение в работе гражданской авиации широкое применение получили спутниковые навигационные системы (СНС). Основой СНС являются американская навигационная спутниковая система (GPS – Global Positioning System) и российская глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС). Комплекс их этих двух систем получил название всемирной глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS – Global Navigation Satellite System).

Кроме этих основных систем существуют ещё ряд региональных спутниковых систем таких, как над европейским регионом или в районах Китая или Индии.

Для надёжности и устойчивости работы СНС необходимы следующие условия (правила):

- *устойчивость и надёжность работы всех трёх сегментов СНС (сегмент управления; сегмент спутников; сегмент приёмных устройств);*
- *обученность и подготовленность к использованию СНС, как лётных экипажей, так и служб ОВД;*

- *Надёжность, устойчивость и эффективность в работе оборудования воздушных судов, его дальнейшее совершенствование и модернизация, в целях современной воздушной навигации.*

Современные воздушные суда оснащаются высокоавтоматизированными бортовыми навигационными комплексами, обеспечивающими автоматизацию практически всех этапов выполнения полёта. Широко применяются бортовые компьютерные системы, обеспечивающие высочайший уровень программирования и выполнения полёта, в этапах от производства взлёта, набора высоты, полёта по маршруту, снижения и выполнения автоматизированного захода на посадку, и посадка в автоматическом режиме. Системы управления полётом, типа FMS (Flight Management System, рис. 1.1), регулируют и управляют всем процессом выполнения полёта.



Рис. 1.1. Бортовое пилотажно-навигационное оборудование на базе FMS, установленное на вертолёте Ми-8.

2. Геоинформационные основы навигации

2.1. Форма и размеры Земли

За физическую поверхность Земли принимают её действительную поверхность со всеми её неровностями (горы, океаны, моря, впадины).

Поверхность мирового океана в спокойном состоянии принимают за уровенную поверхность Земли. Фигуру Земли, ограниченную уровенной поверхностью, называют **геоидом**.

Основное свойство геоида состоит в том, что направление силы тяжести (отвесной линии по вертикали) всюду перпендикулярно к его поверхности. Поэтому в геодезии принято считать, что форма Земли весьма близка к так называемому эллипсоиду (рис. 2.1), то есть фигуру, которую образует эллипс при вращении вокруг его малой оси, совмещённой с осью Земли.

На сегодняшний день в гражданской авиации применяется так называется эллипсоид всемирной геодезической системы 1984 года (WGS-84 – World Geodetic System – 1984), который имеет следующие параметры:

Большая полуось (экваториальный радиус): $a = 6378,137$ км

Малая полуось (полярный радиус): $b = 6356,752$ км

Полярное сжатие: $c = (a - b) / a = 1 / 293,3$

Как мы видим – величина сжатия у полюсов незначительна, поэтому для упрощения многих практических задач навигации, форму Земли принято принимать за сферу (сферу Каврайского), равновеликую геоиду со средним размером радиуса Земли:

$$R=6372,9 \text{ км}$$

Необходимо учитывать возникающие погрешности в расчётах, которые не превышают:

$\pm 0,08\%$ в определении расстояний;

$\pm 5,7'$ в определении угловых величин.

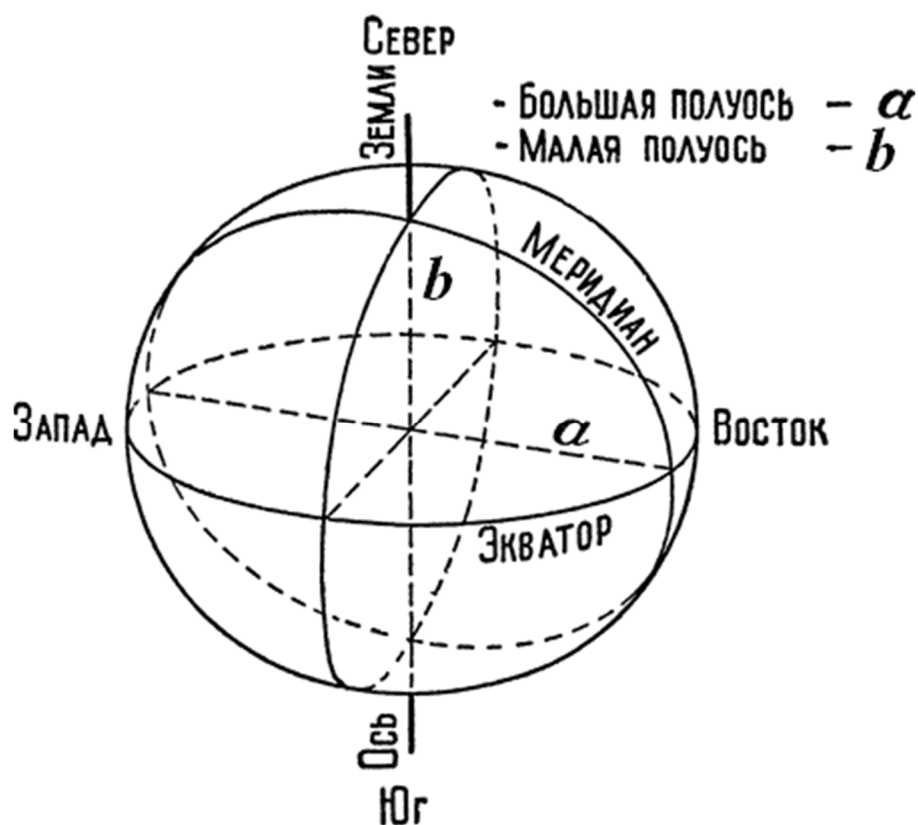


Рис. 2.1. Элементы Земного эллипсоида.

Точки и линии на поверхности Земли называются *системой географических координат* при упрощении формы Земли до сферы и *системой геодезических координат* при упрощении до эллипсоида.

Точки пересечения оси суточного вращения Земли с её поверхностью называются *географическими полюсами*.

Линия пересечения поверхности Земли плоскостью, проходящей через центр Земли, называется *большим кругом*, другие плоскости сечения – *малые круги*.

Большой круг, плоскость которого перпендикулярна к оси Земли, называется экваториальным кругом или **экватором**.

Плоскости сечения, параллельные экватору (малые круги) называются **параллелями**.

Плоскости сечения, проходящие через ось вращения Земли, образует большой круги, называемые **меридианами**.

Параллель и меридиан можно провести только в каждой точке земной поверхности можно провести только в единственном числе. Таким образом, только один меридиан и одна параллель проходят через любую точку Земли.

Меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию в Лондоне, по международному соглашению принят в качестве **начального меридиана**. Начальный меридиан делит земной шар на восточное и западное полушария.

Плоскость экватора и плоскость начального меридиана являются основными плоскостями, от которых производится отсчёт географических координат.

2.2. Географическая система координат

Географические координаты – это угловые величины, определяющие положение точки на поверхности Земли. Этими угловыми величинами являются географическая широта и географическая долгота.

Географическая широта (φ) – угол между плоскостью экватора и направлением нормали (перпендикуляра) к поверхности Земли в данной точке (А) или длина дуги меридиана, выраженная в градусах между экватором и параллелью данной точки. Широта измеряется от экватора от плоскости экватора к полюсам от 0° до 90° . Северная широта имеет положительное значение, южная – отрицательное.

Географическая долгота (λ) – двугранный угол между плоскостями начального меридиана и меридиана данной точки (А), или длина дуги экватора, выраженная в градусах между начальным меридианом и меридианом данной точки. Долгота измеряется в градусах от 0° до 180° . Восточная долгота имеет положительное значение, западная – отрицательное.

На поверхности Земли длина 1° дуги меридиана приблизительно равна:

$$L_{10} = 111,2 \text{ км};$$

$$L_1' = 1 \text{ NM (Nautical Mile - морская миля)} = 1852 \text{ м.}$$

Длина 1° дуги параллели в равна переменной величине, зависящей от широты и приблизительно может быть вычислена по формуле:

$$L_{10} = 111,2 \text{ км} * \cos \varphi.$$

Пример:

Дана широта $\varphi=60^{\circ}$, дуга параллели равна 4° . Необходимо приблизительно определить длину дуги параллели в километрах.

Решение:

$$L \approx 4 * 111,2 * \cos 60^{\circ} = 444,8 * 0,5 = 222,4 \text{ км}$$

При этом необходимо помнить, что при одной и той же разности долгот, длина дуги параллели с приближением к полюсам уменьшается, т. к. функция косинуса с увеличением угла убывает.

Принцип построения географических координат графически изложен на рис. 2.2.

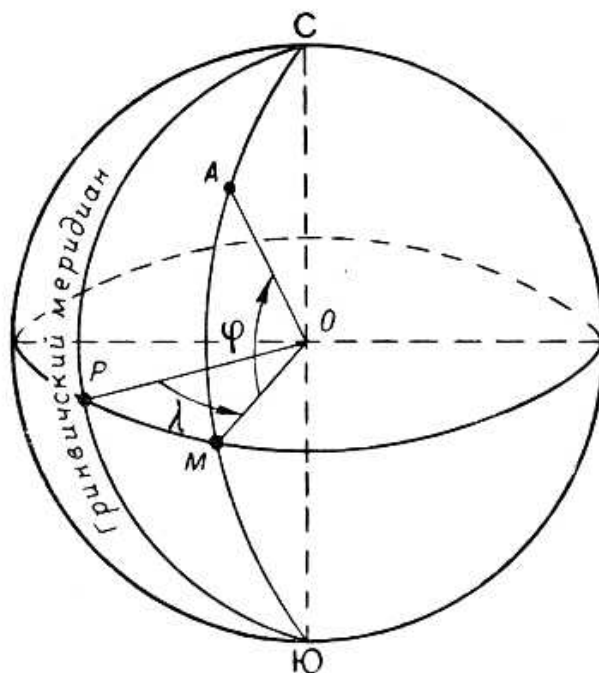


Рис. 2.2. Система географических координат.

2.3. Единицы измерения, используемые в авионавигации

В практической деятельности используются различные единицы измерения расстояний, поэтому необходимо знать соотношение между ними:

$1 \text{ NM (Nautical Mile - морская миля)} = 1852 \text{ м};$

$1 \text{ SM (Statute Mile - сухопутная миля)} = 1609 \text{ м};$

$1 \text{ ft (feet - фут)} = 30,48 \text{ см};$

$1 \text{ м} = 3,28 \text{ ft};$

Для перевода единиц измерения используются следующие зависимости:

$S (\text{км}) = S (\text{NM}) * 1,852;$

$S (\text{NM}) = S (\text{км}) / 1,852;$

$S (\text{км}) = S (\text{SM}) * 1,852;$

$S (\text{SM}) = S (\text{км}) / 1,852;$

$H (\text{ft}) = H (\text{м}) * 3,28;$

$H (\text{м}) = H (\text{ft}) / 3,28.$

2.4. Системы координат, используемые в авионавигации

Кроме географических координат в практике воздушной навигации существуют ещё другие системы координат.

Наиболее широкое применение имеют ортодромические системы координат, прямоугольные системы координат и полярные системы координат:

Ортодромическая система координат аналогична географической, но с произвольным расположением полюсов и измерением расстояний не в угловых, а в линейных единицах.

Прямоугольная система координат – классическая декартова система координат с осями X и Y .

Полярная система координат. Положение точки определяется тремя величинами:

- *расстоянием от центра системы координат (полюса) до заданной точки;*
- *углом между направлением из полюса, выбранным за начало отсчёта и направлением на точку.*

В авионавигации полярными координатами могут быть азимутом (A) и горизонтальной дальностью (D) относительно радионавигационного средства.

В современной авионавигации используются координаты на земной поверхности (эллипсоиде) определённые посредством компьютерных расчётов и с применением космических средств, называются геодезическими координатами. Они имеют очень высокую точность, что способствует безопасности их использования в гражданской авиации.

В воздушной навигации наибольшее значение имеет направление на земной поверхности (рис. 2.3).

Направление на радионавигационное средство измеряют с помощью азимута (A) и путевого угла ($ПУ$).

Прокладка направления производится с помощью навигационных приборов, специальных расчётов и специальных навигационных инструментов.

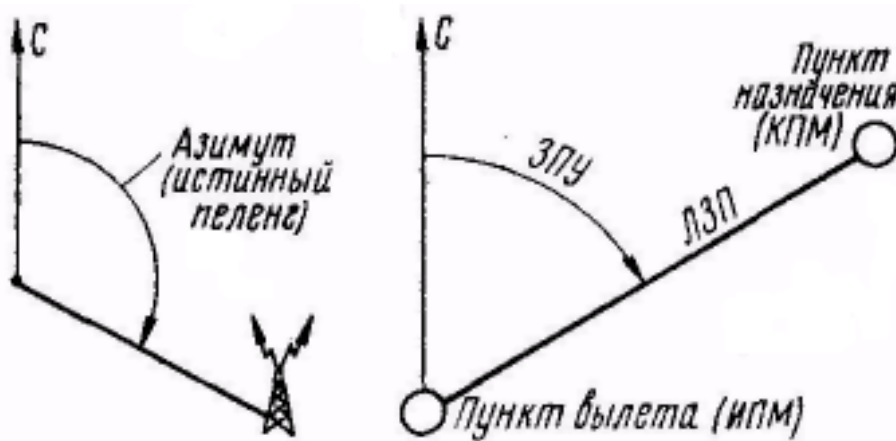


Рис. 2.3. Направление на земной поверхности.

Путь между точками пути может быть проложен по ортодромии и локсодромии.

Локсодромия – линия на земной поверхности (рис. 2.4), пересекающая меридианы под одним и тем же путевым углом, который носит название – локсодромический угол β .

Линия пути воздушного судна в виде локсодромии может выдерживаться с помощью магнитного компаса.

Ортодромия – дуга большого круга, которая является кратчайшим расстоянием между двумя точками на земной поверхности (рис. 2.4).

Основные свойства ортодромии:

- является кратчайшим расстоянием между двумя точками на земной поверхности;
- пересекает меридиана под различными углами вследствие схождения меридианов у полюсов Земли.

Линия пути воздушного судна в виде ортодромии выдерживается с помощью гироскопических курсовых приборов.

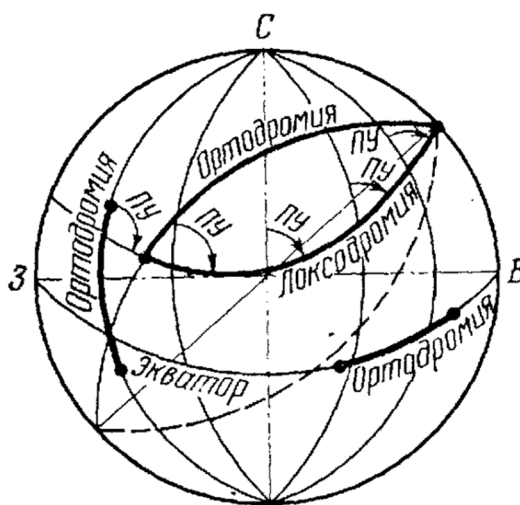


Рис. 2.4. Ортодромия и локсодромия на земной поверхности.

В практике аэронавигации расстояние между точками в 200-300 км можно принять за прямую линию (разница между локсодромией и ортодромией не велика).

Длина пути по ортодромии и координаты точек пути рассчитывается по специальным формулам сферической тригонометрии.

2.5. Аэронавигационные карты

Картой называется сплошное изображение поверхности Земли или её части на плоскости без разрывов и складок по определённым законам.

Способ изображения Земли на плоскости называется **картографической проекцией**.

Вначале форма Земли уменьшается до размеров глобуса, все точки на глобусе математически преобразуются в точки на плоской карте по законам картографической проекции.

Существуют главный и частный масштабы карты.

Главным масштабом карты (M) называется отношение отрезка на глобусе $L_{\text{глобуса}}$, с которого изготовлена карта, к этому же отрезку на поверхности Земли $L_{\text{Земли}}$.

$$M = \frac{L_{\text{глобуса}}}{L_{\text{Земли}}}$$

Частным масштабом карты (m) называется отношение малого отрезка на карте $L_{\text{карты}}$ к этому же отрезку на поверхности Земли $L_{\text{Земли}}$.

$$m \approx \frac{L_{\text{карты}}}{L_{\text{Земли}}}$$

Отклонение частного масштаба от главного, характеризующее искажение масштаба карты, называется увеличением масштаба c :

$$c = \frac{m}{M} = \frac{L_{\text{карты}}}{L_{\text{глобуса}}}$$

Если $c = 1$ – искажений на карте нет (в реальности невозможно);

Если $c > 1$ – частный масштаб крупнее главного;

Если $c < 1$ – частный масштаб меньше главного.

Проекции карт в зависимости от наличия искажений подразделяются на:

- равноугольные (конформные);
- равнопромежуточные;
- равновеликие;
- произвольные.

Все из перечисленных проекций имеют свои положительные и отрицательные свойства. В зависимости от назначения карты наиболее распространены:

- равноугольная цилиндрическая проекция (проекция Меркатора);
- проекция Гаусса-Крюгера;
- полярная стереографическая проекция;
- равноугольная коническая проекция (проекция Ламберта);
- поликоническая проекция.

Аэронавигационные карты также подразделяются по своему практическому применению. Существует огромное количество видов карт, классифицируемых по данному признаку, среди них наиболее известные карты – радионавигационная маршрутная карта, карта аэродрома, карта района и т. д.

На момент издания пособия в связи с огромным количеством видов карт, а также постоянных изменений информации, наносимой на карту, большинство из них в бумажном виде в полёте уже не используются. Все они в электронном виде сведены в специальное устройство, как правило, бытовой планшет, полу-

чивший название электронный портфель полётной информации (EFB – Electronic Flight Bag, рис. 2.5)



Рис. 2.5. Электронный портфель полётной информации.

2.6. Измерение времени

В гражданской авиации на сегодняшний день используется всемирное координированное время (UTC – Universal Time Coordinated), где за точку отсчёта времени принято время, измеряемое от начального меридиана (Гринвичского). Ранее использовалось среднегринвичское время (GMT – Greenwich Mean Time). UTC отличается от GMT наличием периодической корректировки времени атомными часами. На практике GMT и UTC – одно и то же.

При выполнении полётов экипаж обязан учитывать и контролировать время по механическим или электронным хронометрам, которые есть на борту каждого воздушного судна. В практике полётов экипаж рассчитывает:

- *время вылета для прибытия в пункт назначения в заданное время;*
- *элементы естественного освещения (время встречи с темнотой или рассветом и определение продолжительности полёта в ночное время и в сумерках).*

3. Основы аэронавигации

3.1. Основные навигационные понятия

Полёт – это движение воздушного судна в пространстве. Линия, описываемая движением центра масс воздушного судна в полёте, называется траекторией его полёта. Проекция траектории полёта на земную поверхность называется *линией пути* воздушного судна.

Проекция на земную поверхность точки, в которой в данный момент находится воздушное судно, называется *местом воздушного судна*.

Траектория полёта, как правило, задаётся несколькими точками линии пути и высотой выполняемого полёта.

Высота полёта – вертикальное расстояние от уровня, принятого за начало отсчёта, до летящего воздушного судна.

Маршрут заранее прокладывается на полётной карте или при полной автоматизации выполнения полёта, вводится в соответствующие автоматизированные компьютерные системы в виде задающей программы полёта.

Угол между северным направлением меридиана, принятого за начало отсчёта, и линией пути воздушного судна называется *путевым углом*.

Линия пути и путевые углы могут быть заданными и фактическими. В практике аэронавигации используются следующие сокращения:

- линия заданного пути (ЛЗП);
- заданный путевой угол (ЗПУ);
- линия фактического пути (ЛФП);
- фактический путевой угол (ФПУ).

3.2. Учёт ветра в полёте

На выполнение любого полёта значительное влияние оказывает ветер (рис. 3.1).

Ветер – горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности.

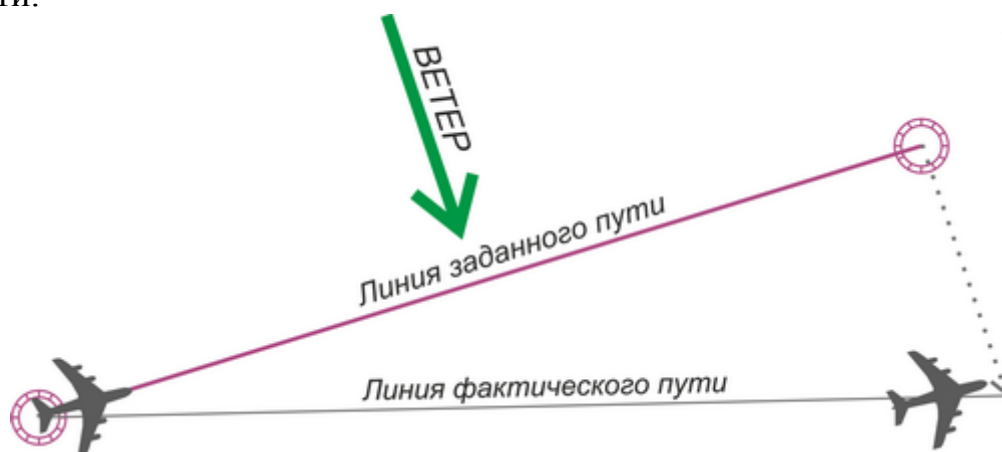


Рис. 3.1. Влияние ветра на полёт воздушного судна.

Скорость и направление ветра определяется наличием горизонтального перемещения воздушных масс. Ветер изменяется с течением времени, с переменной места полёта и с изменением высоты полёта. Для обеспечения точной аэронавигации необходимо обязательно учитывать влияние ветра на полёт воздушного судна.

В аэронавигации существует два способа задания направления ветра: метеорологическое и навигационное.

Метеорологическим направлением ветра называется угол, заключённый между северным направлением истинного (иногда магнитного) меридиана и направлением из точки, **откуда** дует ветер. Измеряется по часовой стрелке от 0° до 360° и, как правило, обозначается буквой δ (могут встречаться и другие обозначения). Именно метеорологическое направление ветра всегда публикуется в метеосводках, которые экипаж получает перед вылетом.

Навигационное направление ветра (НВ) - угол, заключённый между северным направлением магнитного меридиана и направлением в точку, **куда** дует ветер. Измеряется по часовой стрелке от 0° до 360° . Навигационный ветер необходим экипажу для корректировки маршрута и выполнения навигационных расчётов.

Скорость ветра U – скорость движения воздуха относительно земной поверхности. На сегодняшний день скорость ветра может измеряться в км/ч, м/с или узлах (КТ – knot). Необходимо уметь делать перерасчёт из одних единиц в другие.

Примеры:

$U = 20$ м/с, перевести в км/ч

$$U (\text{км/ч}) = 4 * U (\text{м/с}) - (4 * U (\text{м/с})) / 10 = 20 * 4 - (20 * 4) / 10 = 72 \text{ км/ч};$$

$U = 20$ м/с, перевести в узлы

$$U (\text{КТ}) = 2 * U (\text{м/с}) = 2 * 20 = 40 \text{ КТ};$$

Если бы воздушная среда была неподвижна (штиль), то перемещение воздушного судна относительно воздушной среды и земной поверхности совпадало, но такое явление встречается крайне редко и в практике полётов практически не встречается.

Воздушное судно перемещается относительно воздушной среды с *истинной воздушной скоростью (V)* в направлении своей продольной оси. Одновременно под действием ветра оно перемещается вместе с воздушной средой в направлении и со скоростью его движения, то есть его движение происходит по равнодействующей – векторной сумме скоростей воздушного судна и ветра.

Перемещение воздушного судна относительно земной поверхности называется *путевой скоростью (W)*.

Воздушная скорость, путевая скорость, направление и скорость ветра образуют треугольник, называемый *навигационным треугольником скоростей* (рис. 3.2).

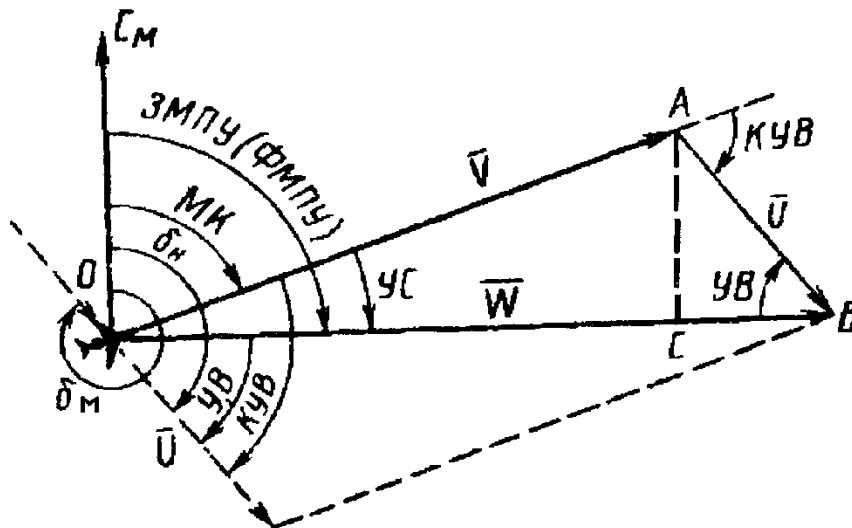


Рис. 3.2. Навигационный треугольник скоростей.

Навигационный треугольник скоростей состоит из следующих элементов:

МК (MH – Magnetic Heading) – магнитный курс воздушного судна;

V (TAS – True Airspeed) – истинная воздушная скорость;

МПУ (MC – Magnetic Course) – магнитный путевой угол, может быть заданным (**ЗМПУ – Desired MC**) и фактическим (**ФМПУ – True MC**). ФМПУ (ЗМПУ) называется угол, заключённый между северным направлением магнитного меридиана и ЛФП (ЛЗП) и измеряется от 0° до 360° ;

W (GS – Ground Speed) – путевая скорость.

U – вектор скорости ветра;

УС (DA – Drift Angle) – угол сноса. Углом сноса называется угол между продольной осью воздушного судна и линией пути. Отсчитывается от продольной оси BC до линии пути вправо со знаком (+) и влево со знаком (-);

УВ – угол ветра;

КУВ – курсовой угол ветра. Курсовым углом ветра называется угол, заключённый между продольной осью BC и направлением навигационного ветра;

δ – метеорологическое направление ветра.

Между элементами навигационного треугольника скоростей установлены следующие зависимости:

$$MK = MPY - (\pm UC);$$

$$UC = MPY - MK;$$

$$W = V \cos UC \pm U \cos UB \approx V \pm U \cos UB;$$

$$UB = \delta + 180^{\circ} - MPY;$$

$$\delta = MPY + UB \pm 180^{\circ};$$

$$КУВ = UB + (\pm UC).$$

Угол сноса (УС) и путевая скорость (W) – основные элементы навигационного треугольника скоростей, необходимые для осуществления точной аэронавигации;

В полёте необходимо учитывать следующие зависимости:

УС с ростом V уменьшается, а при уменьшении V возрастает;

Зависимость W от U – путевая скорость W при попутных и попутно-боковых ветрах возрастает, а при встречных и встречно-боковых ветрах уменьшается.

3.3. Основные принципы аэронавигации

На выполнение полёта оказывает значительное влияние аэронавигационная обстановка, которая характеризуется назначением, дальностью и высотой полёта, метеорологической обстановкой, временем года и суток, характером пролетаемой местности, совершенством бортовых технических средств, оснащённостью аэропортов и маршрутов полёта наземными техническими средствами, наличием запасных аэродромов, наличием и расположением зон с особым режимом полётов.

К особым случаям аэронавигации в различных условиях аэронавигационной обстановки относятся:

- *аэронавигация над горной местностью;*
- *аэронавигация в условиях грозовой деятельности;*
- *аэронавигация в полярных районах;*
- *аэронавигация на малых и предельно малых высотах;*
- *аэронавигация в ночное время и в сумерках.*

Для безопасной аэронавигации необходимо точное и надёжное выполнение маршрутного полёта, которое обеспечивается соблюдением общих правил аэронавигации и установленного порядка работы лётного экипажа на различных этапах полёта.

Общие правила аэронавигации предусматривают:

- *сохранение ориентировки в течение всего полёта;*
- *своевременное исправление отклонений от ЛЗП.*

Порядок работы по этапам маршрута определяется рабочим планом полёта (OFP – Operational Flight Plan) и предусматривает последовательное выполнение экипажем определённого комплекса работ:

- *взлёт (Departure);*
- *выход в ИПМ (исходный пункт маршрута);*
- *выход на ЛЗП;*
- *контроль и исправление пути;*
- *выход в КПМ (конечный пункт маршрута);*
- *выход в район аэродрома посадки (Arrival);*

- выполнение захода на посадку (Approach) и посадки (Landing) или ухода на второй круг (Missed Approach).

Характеристикой навигационной деятельности экипажа воздушного судна является:

- сохранение ориентировки в полёте;*
- выдерживание заданного маршрута полёта;*
- ведение непрерывного контроля пути внесением необходимых исправлений в режим полёта для точного следования по маршруту и точного выхода на контрольные ориентиры, поворотные пункты и в пункт назначения.*

4. Применение геотехнических средств аэронавигации

4.1. Измерение курса воздушного судна

Курс воздушного судна – один из важнейших аэронавигационных элементов. От точности и надёжности измерения курса зависит точность и надёжность, а также безопасность аэронавигации.

Курс – угол между северным направлением меридиана, принятого за начало отсчёта, и продольной осью самолёта.

Для измерения курса применяются курсовые приборы, такие как магнитные компасы и индукционные датчики курса. Данные приборы используют для измерения курса магнитное поле Земли. Магнитные силовые линии выходят из точки, близкой к южному географическому полюсу (южного магнитного полюса) и входят в аналогичную точку (северный магнитный полюс).

Свободно подвешенная магнитная стрелка устанавливается вдоль магнитных силовых линий, которые весьма различны в разных точках Земли. Угол между направлением истинного меридиана и направлением магнитного меридиана (направлением на северный магнитный полюс (север Канады)) имеет название *магнитного склонения* (ΔM).

Величины и значения магнитных склонений ΔM указываются на полётных картах, в виде специальных линий равного значения ΔM , и имеют название *изогонь*.

Измерение магнитного курса осуществляется чувствительным элементом магнитного компаса, который определяет направление горизонтальной составляющей магнитного поля Земли и далее определяет угол между этим направлением и продольной осью самолёта.

Однако в аэронавигации за опорный меридиан принимают не только магнитный меридиан, но и истинный меридиан.

Таким образом, в зависимости от направления меридиана, относительно которого производится измерение курса, оно может быть:

- истинным;
- магнитным;

Как следствие, измеренные курсы могут быть (рис. 4.1):

- Истинный курс (ИК, ТН – True Heading);
- Магнитный курс (МК, МН – Magnetic Heading);

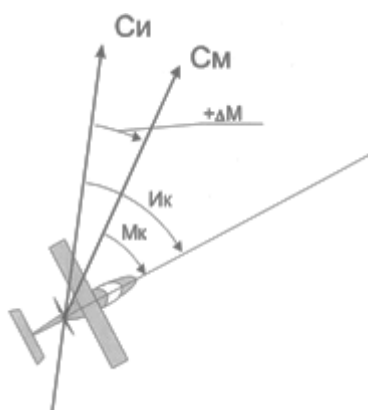


Рис. 4.1. Истинный и магнитный курсы.

Магнитное склонение ΔM отсчитывается от истинного меридиана к магнитному меридиану вправо со знаком (+) и влево со знаком (-).

Истинный и магнитный курсы имеют следующие соотношения:

$$ИК = МК + (\pm \Delta M);$$

$$МК = ИК - (\pm \Delta M);$$

Магнитные компасы, несмотря на их постоянное совершенствование и модернизацию, всё же имеют существенные недостатки в практическом использовании. Помимо неравномерного действия магнитного поля Земли на компас оказывает влияние магнитное поле самого воздушного судна. При ускорениях воздушного судна (разгон, торможение, разворот, крен, набор, снижение, болтанка и т. д.) происходят отклонения в показаниях компасов, за счёт воздействия вертикальных, горизонтальных и иных сил.

Воздействие магнитных полей воздушного судна на работу компаса имеет название – *компасная девиация* (ΔK). Проведением девиационных работ до минимума сводят погрешность в показаниях компаса до минимума, а остаточную девиацию сводят в специальный график, который вешается в кабине экипажа.

Для обеспечения стабильности показаний курса и надёжности измерения курса, широкое применение получили гироскопические и инерциальные курсовые приборы.

Необходимо рассмотреть основное свойство гироскопа – ось ротора гироскопа сохраняет своё направление неизменным в инерциальном пространстве. На основании этого свойства его и используют как курсовой прибор, однако для измерения курса этого недостаточно, т. к. неизвестно начальное положение оси ротора гироскопа. Его можно задать вручную, например, при нахождении ВС на оси ВПП, курс которой известен с высокой точностью, однако этот способ широко применения не нашёл.

Для установки начального положения гироскопа, гироскоп обычно объединяют с индукционным датчиком (датчиком магнитного курса). В данном случае гироскоп (гироскоп) в комплексе с индукционным датчиком, является

сглаживающим фильтром, не позволяющим возникать колебаниям в показаниях курса при различных условиях полёта воздушного судна.

Однако на сегодняшний день гироскопы в чистом виде на воздушных судах, также как и магнитные компасы, не применяются. Наиболее широкое распространение в качестве основного средства измерения курса получили *инерциальные системы навигации (IRS – Inertial Reference System)*.

Основой современной инерциальной системы, являются акселерометры и лазерные гироскопы, жёстко закреплённые на корпусе воздушного судна. Современная инерциальная система во время запуск и работы непрерывно определяет такие параметры, как *истинный курс, тангаж, геодезические координаты*. В чистом виде показания этих параметров не точны, поэтому предусмотрена коррекция системы и использованием индукционного датчика и спутниковых навигационных систем. На борту воздушного обычно установлено 2-3 комплекта инерциальной системы навигации.

4.2. Измерение высоты полёта

Высота полёта – расстояние по вертикали от уровня, принятого за начало отсчёта до воздушного судна.

В зависимости от принятого уровня отсчёта высоты различают следующие высоты, которые применяются в авионавигации:

Истинная высота (Height) – высота, измеренная от уровня земной поверхности. Уровнем земной поверхности может быть порог ВПП.

Относительная высота (Altitude) – высота, измеренная от некоторого условного уровня. Этим уровнем может быть *средний уровень моря (MSL – Mean Sea Level)* или *уровень стандартного давления на уровне моря 1013,25 hPa*. Высота, измеренная от уровня стандартного давления на уровне моря называется *эшелоном полёта (FL – Flight Level)*.

На сегодняшний день *барометрический метод измерения* является основным методом измерения высоты, в основе которого лежит закон изменения атмосферного давления с поднятием на высоту, который выражен следующей зависимостью:

$$H = RT_{\text{ср.}} \ln \frac{p_0}{p_H},$$

где R – газовая постоянная;

$T_{\text{ср.}}$ – средняя температура воздуха в слое, где происходит измерение;

p_0 – давление уровня отсчёта высоты, установленное на высотомере.

p_H – давление атмосферы на высоте полёта.

В среднем можно принять, что с подъёмом барометрическая высота изменяется по линейному закону $\approx 11 \text{ м} / 1 \text{ мм. рт. ст.}$ или $\approx 8 \text{ м} / 1 \text{ гПа}$ (среднее значение барической ступени).

Чувствительным элементом высотомера является анероидная коробка или целый блок таких коробок. При подъёме на высоту, давление понижается и анероидная коробка под действием сил упругости расширяется и далее через передаточный механизм на индикатор текущей высоты полёта.

При полёте на малых высотах точная *истинная высота* измеряется *радиотехническим методом*.

Используется закономерность распространения радиоволн, которые, в свою очередь, отражаются от земной (водной) поверхности и возвращаются в приёмник на воздушном судне. Измерение времени прохождения сигнала до Земли и обратно даёт возможность определять истинную высоту над пролетаемой поверхностью.

Стоит отметить, что радиовысотомеры, используемые в гражданской авиации, позволяют определять истинную высоту до 700 м (2500 ft).

4.3. Измерение воздушной скорости

Скорость воздушного судна относительно воздушной среды является воздушной скоростью.

Приборная скорость определяется аэродинамическим методом, который основан на зависимости между давлением встречного потока воздуха (полное давление) и скоростью самого потока (динамическое давление):

$$V_{\text{пр}} (IAS - \text{Indicated Airspeed}) = \sqrt{\frac{2(P_{\text{П}} - P_{\text{Н}})}{\rho_0}},$$

где $P_{\text{П}}$ – полное воздушное давление, поступающее в приёмник воздушного давления;

$P_{\text{Н}}$ – статическое давление на высоте полёта;

$\rho_0 = 1,222 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха на уровне моря;

Т. к. в расчёт положена плотность воздуха на уровне моря, то для определения истинной воздушной скорости (TAS – True Airspeed) необходимо учитывать ряд ошибок, связанных с различием параметров воздуха на уровне Земли и высоте полёта, а также со сжимаемостью и искажением воздушного потока около приёмника воздушного давления.

Экипаж использует приборную воздушную скорость для пилотирования воздушного судна и предотвращения его выхода в опасные режимы полёта, а истинную воздушную скорость для целей навигации, в частности определения скорости и направления ветра бортовым компьютером.

Диспетчер ОВД задаёт экипажу именно **приборную (IAS)**, а не *истинную скорость полёта (TAS)*, т. к. её ошибки приблизительно одинаковы для всех воздушных судов, находящихся на одинаковой высоте полёта. Таким образом,

приборная скорость широко применяется для целей организации воздушного движения. Единицей измерения приборной скорости в целях организации воздушного движения и пилотирования является *узел приборной скорости (KIAS – Knot of Indicated Airspeed)*.

4.4. Измерение путевой скорости

Скорость воздушной скорости относительно земной поверхности имеет название путевой скорости (GS – Ground Speed).

Как один из важнейших навигационных элементов полёта, путевая скорость рассчитывается экипажем в процессе полёта и применяется в целях аэронавигации.

На сегодняшний день существуют средства, позволяющие с высокой точностью определять путевую скорость. Она может определяться инерциальной системой аэронавигации или спутниковыми навигационными системами.

4.6. Измерение вертикальной скорости

Вертикальная скорость на сегодняшний день измеряется двумя методами:

- *барометрическим методом;*
- *инерциальным методом.*

Вертикальная скорость, измеренная инерциальным методом, имеет более точное значение.

Вертикальная скорость имеет большое значение для целей ОВД, она измеряется в м/с и ft/мин.

5. Применение радиотехнических средств аэронавигации

5.1. Классификация радиотехнических средств аэронавигации

В практике аэронавигации существует следующая классификация радиотехнических систем по виду аэронавигационного параметра:

- угломерные системы, которые определяют угол (пеленг) между опорным направлением, проходящим через РНС и направления от радионавигационного средства до воздушного судна.
- дальномерные системы, которые определяют дальность от радионавигационного средства до воздушного судна.
- угломерно-дальномерные системы, определяют одновременно угол и дальность до воздушного судна.

5.2. Применение автоматического радиокompаса

Автоматический радиокompас (АРК, ADF – Automatic Direction Finder) – часть угломерной системы, приёмное устройство ненаправленного действия, расположенное на воздушном судне, позволяющее определить направление на передающую радиостанцию.

В комплексе с геотехническими средствами и наземными приводными радиостанциями АРК позволяет решать следующие задачи:

- *выполнять полёт от радиостанции и от неё с заданным направлением;*
- *осуществлять контроль пути по направлению;*
- *выполнять заход на посадку в условиях облачности.*

АРК измеряет курсовой угол радиостанции (КУР).

Курсовой угол радиостанции (КУР) – угол, заключённый между продольной осью воздушного судна и направлением на радиостанцию. Данный угол отсчитывается по часовой стрелке от 0° до 360° (рис. 5.1).

Зная КУР, можно определить направление на радиостанцию и выполнять полёт или маневрирование, используя показания АРК.

Как и магнитному компасу, АРК свойственны свои погрешности, связанные с искажением радиоволн в результате их интерференции, отражения и т. д. Эта погрешность называется *радиодевиацией* (ΔP). Существуют компенсирующие механические устройства для уменьшения величины ΔP .

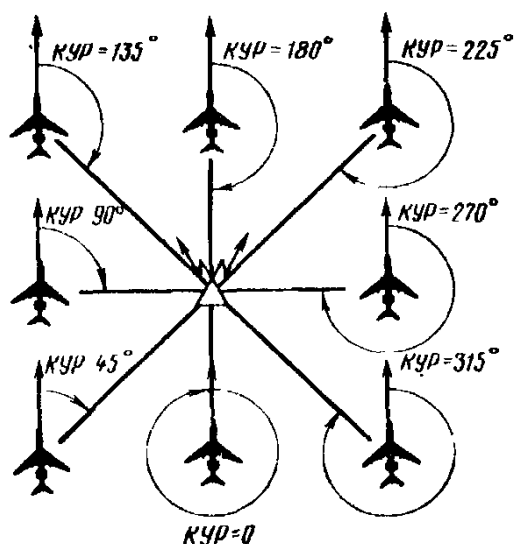


Рис. 5.1. Курсовой угол радиостанции.

Помимо КУР, другим важным параметром, который можно определить с помощью АРК является *пеленг радиостанции (ПР)*.

Пеленг радиостанции (ПР) – угол между северным направлением меридиана, принятого за начало отсчёта, и направлением на радиостанцию. Отсчитывается от меридиана, принятого за начало отсчёта (как правило, магнитного) по часовой стрелке от 0° до 360° (рис. 5.2).

Обратным значением ПР является *пеленг самолёта (ПС)*.

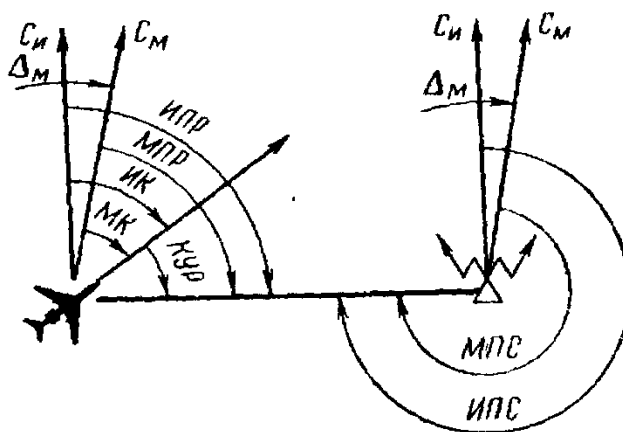


Рис. 5.2. Пеленг радиостанции и пеленг самолёта.

КУР, ПР и ПС связаны следующими соотношениями:

$$МПР = МК + КУР;$$

$$МПС = МПР \pm 180^{\circ};$$

$$ИПР = ИК + КУР;$$

$$ИПС = ИПР \pm 180^{\circ}.$$

5.3. Применение радиопеленгаторов

Наземный радиопеленгатор – специальное приёмное устройство, позволяющее определить направление (пеленг) на передающую радиостанцию воздушного судна.

Пеленгатор является как средством навигации (для экипажа), так и средством наблюдения (для диспетчера ОВД).

Данные пеленгации могут использоваться только при наличии двусторонней радиосвязи между ВС и службой ОВД. Пеленги, выдаваемые с радиопеленгатора на частотах каналов диспетчерской связи (118-135 МГц), отсчитываются относительно магнитного меридиана.

Прямой пеленг (ПП) – угол между северным направлением меридиана, принятого за начало отсчёта, и направлением на ВС. Отсчитывается от магнитного меридиана по часовой стрелке от 0° до 360° (рис. 5.3).

Обратным значением ПП соответственно является *обратный пеленг (ОП)*.

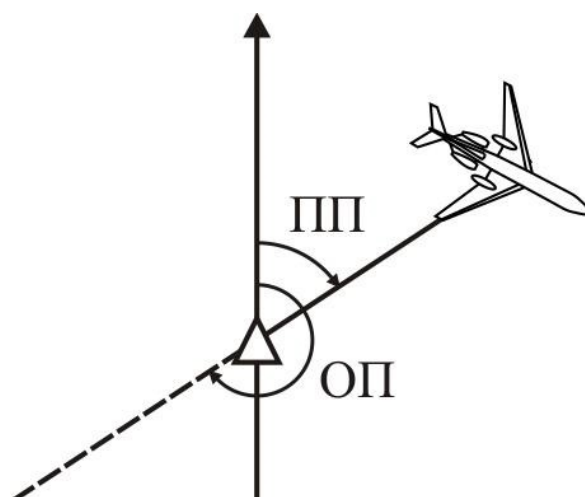


Рис. 5.3. Прямой и обратный пеленги.

В комплексе с геотехническими средствами радиопеленгатор помогает экипажу решать следующие задачи:

- *определение момента пролёта пеленгатора или его траверз;*
- *контроль пути по направлению;*
- *определение места воздушного судна и определение навигационных элементов полёта;*
- *полёт в условиях облачности и заход на посадку.*

5.4. Применение радиомаяков VOR DME

За рубежом и в настоящее время в РФ установлены угломерные радиотехнической системы типа радиомаяк азимутальный (РМА) и радиомаяк дальномерный (РМД). РМА и РМД очень часто устанавливаются совместно. РМА и РМД полностью является русским аналогом зарубежных систем VOR и DME.

Радиомаяк VOR (Very High Frequency Omni-Directional Radio Range) работает в диапазоне частот 108 – 118 МГц. Т. к. на этих частотах хорошо передается речевая информация, маяк VOR передает речевую информацию непосредственно через сам маяк, чередуясь с позывными маяка, передающимися кодом Морзе.

На ВС, оборудованных для приема сигналов от маяков VOR (оборудование также может входить в состав системы менеджмента полета - FMS), можно определять магнитный пеленг ВС относительно маяка, которая имеет общепринятое наименование «RADIAL».

Маяки VOR подразделяются в зависимости от мощности на 3 класса:

- *T (Terminal)* – аэроузловой;
- *L (Low Altitude)* – для малых высот;
- *H (High Altitude)* – для больших высот;

Дальность действия маяков зависит от высоты полета:

- *T – 25 н. м. на высотах 1000-12000 ft;*
- *L – 40 н. м. на высотах 1000-18000 ft;*
- *H – от 100 н. м. до 130 н. м. на высотах полета 14500-45000 ft.*

Примечание: практика полетов показывает, что дальность действия трассовых маяков VOR может достигать 200 н. м.

Для целей навигации установлена следующая точность VOR:

- *при выдерживании заданного радиала пути - $\pm 5,2^0$;*
- *суммарный допуск на погрешность средства, обеспечивающего пересечение радиала с ЛЗП - $\pm 4,5^0$.*

Во время техобслуживания маяка VOR, будет излучаться код «Т-Е-S-T» (испытание), поэтому показания маяка будут недостоверными.

Радиомаяк DME (Distance Measuring Equipment) работает в диапазоне частот 962-1213 МГц и может одновременно обслуживать до 100 ВС. На борту ВС оборудование построено таким образом, что каждой частоте DME в вышеуказанном диапазоне соответствует частота VOR в своём диапазоне (108-118 МГц). Таким образом, в бортовое оборудование ВС вводится только частота VOR, а частота DME настраивается автоматически.

В зависимости от назначения и использования работает:

- *автономно – указывается частота настройки несуществующего VOR;*
- *совместно с маяками VOR (VOR DME);*
- *совместно с системой ILS (ILS DME);*
- *совместно с курсовым радиомаяком (LOC DME).*

Дальность действия маяка DME как правило соответствует дальности действия того средства, с которым оно комплексируется и даже превышает её. Классическая дальность действия DME, входящего в состав трассового VOR DME составляет около 130 н. м. (240-250 км).

5.5. Применение спутниковых навигационных систем

Все СНС (спутниковые навигационные системы) имеют примерно одинаковую структуру. Она состоит из основных сегментов:

- *космический (пространственный) сегмент;*
- *управляющий сегмент;*
- *сегмент пользователя;*

В качестве вспомогательных сегментов используются:

- *сегмент космического функционального дополнения;*
- *сегмент наземного функционального дополнения;*

Космический сегмент, к настоящему времени, содержит до 32 спутников, расположенных на высоте свыше 20200 км над Землёй.

Каждый из спутников формирует следующую информацию (навигационное сообщение):

- *спутниковые сигналы синхронизации и времени;*
- *точные данные (эфемериды) о положении спутника на орбите;*
- *коррекционные данные для определения точного времени;*
- *данные о самом спутнике (альманах);*
- *данные об ионосфере;*
- *информация о состоянии спутника на данный момент;*

Наиболее важным элементом в составе спутника являются точные атомные часы.

Управляющий сегмент, состоящий из главной станции, совмещённый с вычислительным центром, группы контрольно-измерительных станций (КИС) и наземного эталона времени и частоты.

На главной станции осуществляется сбор информации со всех КИС, её математическая обработка, определение координат и коррекция необходимых данных.

Сегмент пользователя принимает сигналы от спутников. При приёме сигналов от четырёх спутников и их синхронизации образуется смещение по времени Δt на всех 4-х спутниках, которое используется для определения транзитного времени сигнала, что позволяет определить расстояние до спутников. На основании определённого расстояния и времени смещения Δt , приёмное устройство пользователя определяет свою позицию, иными словами, своё местоположение, а именно геодезические координаты: широту B , долготу L , высоту H и время t относительно известной позиции 4-х спутников.

Бортовые приёмники СНС, установленные на ВС, сегодня используют только 2 типа СНС: Global Positioning System (GPS, рис. 5.4), созданная в США,

и Глобальная Навигационная Спутниковая Система (ГЛОНАСС), созданная в РФ.

Для многих ВС СНГ сегодня является основным навигационным средством, используемым по умолчанию. Кроме того, без СНС невозможно осуществление зональной навигации.



Рис. 5.4. Космический сегмент системы GPS.

6. Выполнение полёта по маршруту и в районе аэродрома

6.1. Основные правила аэронавигации

В основе успешного выполнения любого полёта лежит строгое соблюдение установленных правил аэронавигации. Эти правила обязательны для всех лиц, выполняющих полёты:

- *сохранение ориентировки в течение всего выполняемого полёта;*
- *непрерывное ведение контроля пути и своевременное введение поправок;*
- *применение технических средств аэронавигации в комплексе.*

Наиболее значимым является сохранение ориентировки в течение всего полёта.

Для соблюдения установленных правил и обеспечение безопасности полётов необходимо строгое выдерживание заданного маршрута.

В процессе полёта воздушное судно может отклоняться от линии заданного пути. Уклонение от ЛЗП, кроме того неточный по времени пролёт контрольных ориентиров, происходит вследствие ошибок в расчётах, неточного выдерживания режима полёта, неверное или неграмотное использование приборного оборудования или отказа приборного оборудования. Таким образом, экипажу необходимо непрерывно вести контроль пути и вносить необходимые исправления в режим полёта.

Различают *контроль пути по направлению* и *контроль пути по дальности*.

Контроль пути по направлению заключается в определении фактического путевого угла (ФПУ) и определении величины бокового уклонения (БУ) от ЛЗП.

Контроль пути по дальности состоит в определении пройденного и оставшегося расстояния до пункта маршрута и своевременного пролёта заданных ориентиров.

6.2. Этапы полёта

Выполнение полёта включает в себя следующие этапы (рис. 6.1):

- 1) **Вылет (Departure)** – взлёт, набор высоты и выход на исходный пункт маршрута;
- 2) **Полёт по маршруту (Enroute)** – полёт по маршруту и выход на конечный пункт маршрута;
- 3) **Прибытие (Arrival)** – снижение и выход в точку начала захода на посадку;
- 4) **Заход на посадку и посадка (Approach).**

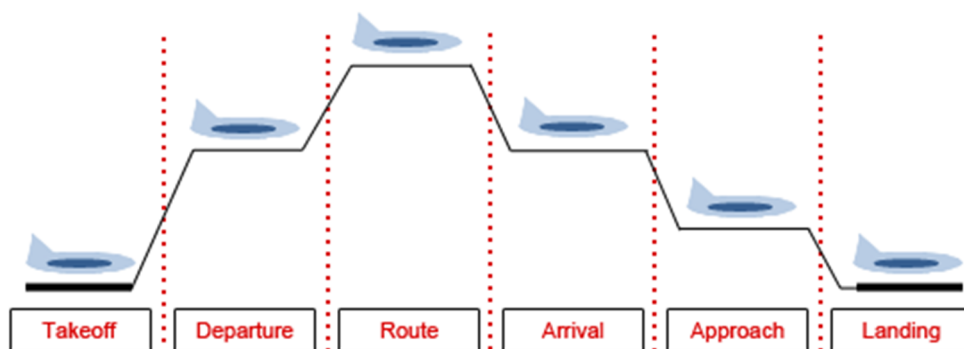


Рис. 6.1. Этапы полёта

В процессе полёта экипаж и диспетчер ОВД должен уметь определять элементы разворота и учитывать их при маневрировании. Элементы разворота зависят от крена β .

Радиус разворота:

$$R = \frac{V^2}{g * tg\beta'}$$

где V – истинная воздушная скорость;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

β – угол крена при развороте.

Время разворота:

$$t_p = \frac{2\pi R}{V} * \frac{УР}{360}$$

где $УР$ – угол разворота.

Данные расчёты можно выполнять с помощью калькулятора или навигационной линейки НЛ-10М, но в большинстве современных систем управления полётом и систем управления воздушным движением расчёт радиуса разворота выполняется автоматически.

В процессе набора высоты рассчитываются время и место набора заданной высоты для выполнения заданного полёта. Определяется необходимая вертикальная скорость V_v и время набора заданной высоты с помощью приборного оборудования или НЛ-10М.

Не менее важным элементом полёта является определение рубежа начала снижения. Рассчитывается время и место начала снижения. Данный расчёт производится на основании полученных от службы ОВД условий подхода к аэродрому посадки. Снижение ВС производится по согласованию со службой ОВД, с обязательным докладом о времени начала снижения. В процессе снижения необходимо учитывать ограничения, изложенные в руководстве по лётной эксплуатации данного ВС, и ограничения воздушного пространства в зоне под-

хода и непосредственно самого аэропорта посадки. В процессе снижения необходимо учитывать изменение ветра с высотой. Учитывается интенсивность воздушного движения и метеорологическая обстановка в процессе снижения.

В настоящее время очень широко используются методики стандартных маршрутов вылета (SID – Standard Instrument Departure) и прибытия (STAR – Standard Instrument Arrival) воздушных судов. Данные маршруты изложены в специальных сборниках аэронавигационной информации, с которыми экипаж должен работать в процессе подготовки и выполнения полёта.

Очень широкое применение в целях организации воздушного движения получили зоны ожидания (ЗО). Также служба ОВД широко применяет процесс векторения ВС, т. е. задание определённой высоты, скорости и траектории движения воздушного судна.

6.3. Заход на посадку

В основе успешного выполнения любого полёта лежит строгое соблюдение установленных правил аэронавигации.

Этап захода на посадку относится к наиболее сложным этапам полёта.

Каждый из этапов имеет своё обозначение и начинается в определённых контрольных точках (рис. 6.2):

IAF (Initial Approach Fix) – контрольная точка начального этапа захода на посадку;

IF (Intermediate Fix) – контрольная точка промежуточного этапа захода на посадку;

FAF (Final Approach Fix) – контрольная точка конечного этапа захода на посадку;

MAP (Missed Approach Point) – контрольная точка начала выполнения процедуры прерванного захода на посадку.

Экипажи ВС, находясь в точке IAF, они выходят из структуры маршрута и приступают к процедуре захода на посадку.

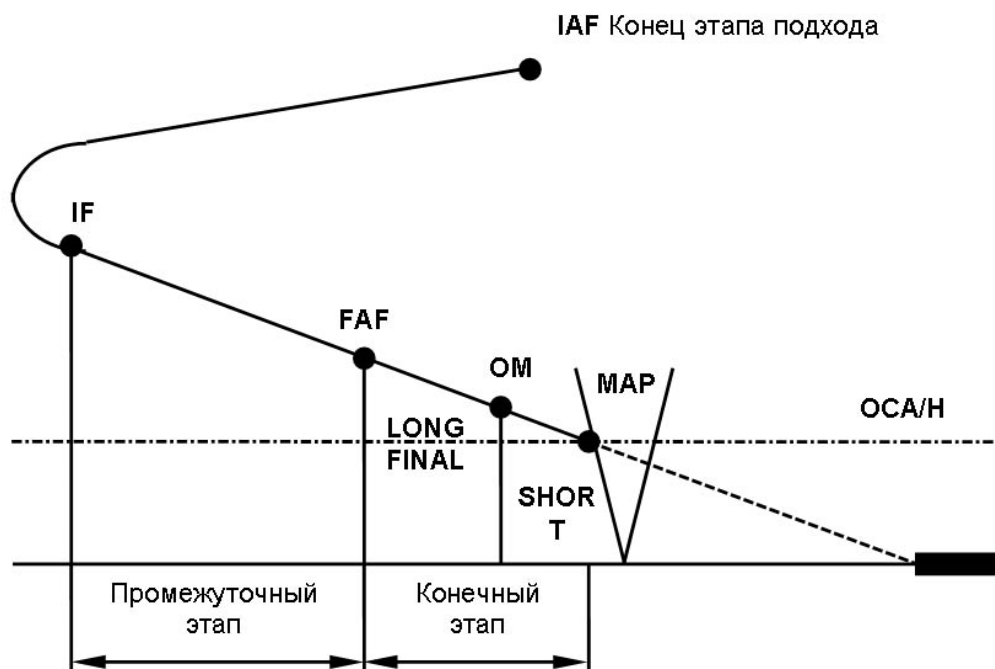


Рис. 6.2. Этапы захода на посадку

На схемах маневрирования при заходе на посадку возможно использование самых различных вариантов выхода на промежуточный либо на конечный участок захода на посадку. Лётным экипажам необходимо тщательно ознакомиться с опубликованной схемой, учитывая все пометки и предупреждения, нанесённые на схеме.

В процессе маневрирования лётный экипаж обязан учитывать влияние ветра, внося соответствующие поправки в курс следования, учитывая время, используя показания навигационных средств, опубликованных на схеме.

Заходы на посадку могут быть точными, обеспечивающие горизонтальное и вертикальное наведение ВС на конечном этапе захода на посадку, и неточные, не обеспечивающие вертикальное наведение или обеспечивающие его неточно.

Вариантов неточных заходов на посадку значительное количество. При таких заходах используются более высокие эксплуатационные минимумы посадки.

При соответствующих условиях используются методика визуального захода на посадку (Visual Approach) и захода на посадку с применением кругового маневрирования (Circle-to-Land).

В процессе выполнения захода на посадку экипаж определяет навигационные элементы заходы на посадку, учитывая ветровой режим и прочие метеоусловия, влияющие на безопасность производства посадки. В процессе захода служба ОВД обеспечивает безопасные интервалы и очередность выполнения посадки воздушных судов.

7. Штурманская подготовка к полёту

7.1. Организация штурманской подготовки

Штурманская (навигационная) подготовка – комплекс мероприятий по подготовке экипажей воздушных судов в навигационном отношении.

Штурманская подготовка может носить характер *предварительной подготовки* и может носить характер *предполётной подготовки*.

Предварительная подготовка организуется для изучения и усвоения элементов предстоящего полёта. Данная подготовка проводится руководством лётного подразделения с участием различных специалистов в случаях:

- *экипаж впервые выполняет полёт по данному маршруту;*
- *при перерывах в полётах экипажа более 3-х месяцев;*
- *при выполнении полётов в горной местности.*

Предполётная подготовка организуется командиром воздушного судна (КВС). В результате предполётной подготовки должна быть обеспечена готовность экипажа к выполнению предстоящего полёта. Кроме того проводится подготовка ВС и его оборудования к предстоящему полёту.

7.2. Состав штурманской подготовки

Штурманская (навигационная) подготовка включает в себя:

- *подбор и подготовка полётной документации;*
- *выбор или прокладка маршрута;*
- *подготовка необходимых данных для применения технических средств аэронавигации (установочных данных);*
- *изучение маршрута, изучения основных и запасных аэродромов;*
- *изучение метеорологической обстановки и выбор запасных аэродромов;*
- *подготовка (расчёт) штурманского бортового журнала и рабочего плана полёта (OFP);*
- *подготовка аэронавигационного оборудования и личного штурманского снаряжения;*
- *контроль навигационной подготовки.*

Навигационный расчёт полёта включает в себя определение основных точек маршрута:

- *исходный пункт маршрута (ИПМ);*
- *поворотные пункты маршрута (ППМ);*
- *конечный пункт маршрута (КПМ);*
- *контрольные ориентиры (КО).*

Существуют определённые правила прокладки маршрутов, которые необходимо учитывать.

При наличии прогностического ветра по высотам рассчитываются элементы полёта, определяются магнитные и ортодромические курсы полёта, путевые скорости и время полёта для каждого участка маршрута.

Определяется общая продолжительность полёта, определяется потребный режим работы двигателей и потребный запас топлива, для полёта на основной аэродром, а в случае необходимости, запас топлива для полёта до запасного аэродрома. Также может быть определён рубеж ухода на запасной аэродром или рубеж возврата на аэродром вылета.

Определяются нижние безопасные эшелоны полётов и необходимые безопасные высоты.

Общий запас топлива, необходимый для выполнения полёта, определяется по участкам маршрута, а в дальнейшем суммируется, и к расчёту добавляется необходимое количество топлива, необходимое для выполнения безопасного полёта.

Общий запас топлива определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{ОБЩ}} = Q_{\text{АНЗ}} + Q_{\text{МАРШ}} + Q_{\text{ВЗЛ}} + Q_{\text{ПОС}} + Q_{\text{ЗЕМЛИ}} + Q_{\text{Н.О.}} + Q_{\text{КВС}}, \text{ где}$$

***Q_{АНЗ} (Alternate fuel)** – аэронавигационный запас топлива для следования и захода на посадку на запасном аэродроме, остаток топлива должен быть не менее, чем на 1 ч полёта;*

***Q_{МАРШ} (Trip fuel)** – количество топлива, расходуемое по этапам маршрута от ИПМ до КПМ;*

***Q_{ВЗЛ}** – топливо, необходимое для взлёта и набора высоты. В автоматизированных системах штурманских расчётов (АСШР) уже включено в Trip Fuel;*

***Q_{ПОС} (Final fuel)** – топливо на снижение и заход на посадку;*

***Q_{ЗЕМЛИ} (Taxi fuel)** – топливо, необходимое для запуска, опробывания двигателей и передвижения по земле;*

***Q_{Н.О.}** – невырабатываемый остаток топлива, которое находится в топливных баках воздушного судна. В АСШР это количество топлива уже включено в «сухую» массу воздушного судна.*

***Q_{КВС} (Contingency fuel)** - запас командира воздушного судна на случай непредвиденных обстоятельств (изменения погодных условий, закрытия запасных аэродромов и т. д.). Составляет не менее 3% от Q_{МАРШ} (Trip fuel).*

Окончательное решение о наличии необходимого количества топлива на борту принимает КВС на основе расчётов и фактической аэронавигационной обстановки перед предстоящим полётом.

Рассчитанное количество топлива указывается в рабочем плане полёта и, при необходимости, вводится в бортовой компьютер управления полётом.

В настоящее время широко используются автоматизированные системы штурманских расчётов (АСШР), которые автоматически создают OFP.

На сегодняшний день наиболее распространены французская система SITA и системы, разработанные компанией JEPPESEN.

ATC ROUTE: N0481F380 BERG3V BERGI UL602 SUPUR UL60 OTBED UL26 PENIL UL70 BAGSO
 DCT CON DCT DOGAL/M084F380 NATB 57N040W/M084F400 NATB LOMSI/N0495F400
 N354F YRI N278A COVAN J563 ALB J37 IGN IGN1

ALTERNATE PLANNING

```
-----
ALTN/RWY DIST ALT/FL  COMP  TIME  FUEL  DIFF  ROUTE
KEWR/04R  92 14000  HD030 00:24 2690   -  JFK1 CRI DCT COL V232 SBJ
KLGA/31   104 17000  HD011 00:24 2755  +65  BETTE3 JFK DCT CMK V188 DOSWL
          V157 BASYE HAARP3
KBOS/27   177 FL290  TL019 00:31 3648  +958  MERIT DCT ORW WOONS1
KIAD/30   235 FL360  HD061 00:45 5078  +2388 RBV HYPER5
-----
```

```
-----
AWY      WAYPOINT  MT   ALT  WND/VEL  TAS  DIST  FUEL REM / USED  LEG  ACC
          NAME      TMP  FREQ    GS   REM   POSITION          ETO / ATO
-----
          EHAM/36L      -11                51.7 /  0.3
          SCHIPHOL      3309 N5219.7 E00442.5 ...../.....
BERG3V   EH047      003  *CLB                6   50.5 /  1.4  03 00:03
          3303 N5225.9 E00443.1 ...../.....
BERG3V   EH094      315  *CLB                3   50.3 /  1.7  00 00:03
          3300 N5228.0 E00439.7 ...../.....
BERG3V   EH034      315  *CLB                4   50.0 /  1.9  01 00:04
          3296 N5231.1 E00434.6 ...../.....
BERG3V   BERGI      330  *CLB                16  49.2 /  2.7  03 00:07
          3280 N5244.9 E00421.5 ...../.....
-----
```

Рис. 7.2. Фрагмент рабочего плана полёта

7.4. План полёта, подаваемый в службу ОВД

Для обеспечения информацией о планируемом полёте соответствующих органов ОВД оформляется план полёта (FPL – Flight Plan, рис. 7.3).

Перед полётом должен подаваться план полёта в случаях:

- *любого полёта, обеспечиваемого службами ОВД;*
- *любого полёта по приборам в консультативном воздушном пространстве;*
- *любого полёта в пределах обозначенных районов полётной информации;*
- *любого полёта, требующего координации действий органов ОВД с соответствующими военными органами или службами ОВД сопредельных государств;*
- *любого полёта через государственные границы.*

План полёта подаётся не менее чем за 3 часа до вылета. Последний допустимый срок подачи плана полёта не менее чем за 1 ч до расчётного времени вылета. План полёта должен содержать достоверные сведения о предстоящем полёте.

В план полёта включаются все необходимые данные о предстоящем полёте, в том числе и информация о запасных аэродромах, а также информация, востребованная соответствующими органами ОВД.

В план полёта включается следующая информация:

- 1) *Обозначение ВС*
- 2) *Правила полётов и тип ВС*
- 3) *Количество и типы ВС*
- 4) *Категория спутной турбулентности*
- 5) *Оборудование ВС*
- 6) *Аэропорт вылета*
- 7) *Расчётное время*
- 8) *Крейсерская скорость*
- 9) *Крейсерский эшелон*
- 10) *Маршрут предстоящего полёта*
- 11) *Аэропорт назначения (прибытия)*
- 12) *Общее расчётное время полёта*
- 13) *Запасные аэродромы*
- 14) *Запас топлива на полёт*
- 15) *Общее число лиц на борту*
- 16) *Аварийно-спасательное оборудование на ВС*
- 17) *Необходимая прочая предоставляемая информация*

Для полётов по приборам, специальными группами обученного персонала, отвечающих за организацию обеспечения полётов, готовятся заблаговременно повторяющиеся планы полётов (RPL – Repetitive Flight Plan), которые могут использоваться продолжительное время. Данные RPL заранее согласуются со всеми службами и органами ОВД.

Экипаж перед вылетом обязательно должен сверить данные по предстоящему полёту с RPL, исключая возможные ситуации, связанные с изменениями в RPL, кроме того данные RPL, являются основой для создания FPL (Flight Plan).

Помимо представления плана полёта эксплуатантом в адрес соответствующих органов ОВД, члены лётных экипажей имеют возможность предоставлять предстоящий план полёта самостоятельно, в необходимых для этого случаях. Примером таких случаев может быть перелёт с запасного аэродрома на основной, полёт на дозаправку, для продолжения запланированного рейса и т. п.

Для диспетчера ОВД, обеспечивающего полётно-информационное обслуживание, FPL имеет большое значение для обеспечения безопасности авионавигации в подконтрольном районе полётов.

International Flight Plan

1. PRIORITY <<= FF →		2. ADDRESSEE(S) MMIDZRZX MHTGZRZX MKJKZRZX MUFHZRZX KDEAYFYX MWCRYFYX MKJPFYX ZCH	
4. PLNO TIME 181230 →		3. ORIGINATOR KDRLYFYX <<=	
(SPECIFIC IDENTIFICATION OF ADDRESSEE(S) AND/OR ORIGINATOR)			
3. MESSAGE <<= (FPL)		7. AIRCRAFT IDENTIFICATION - N10999	8. FLIGHT RULES - I
5. NUMBER - 1		10. TYPE OF AIRCRAFT LJ35	11. WAKE TURBULENCE CAT. 1M
12. DEPARTURE AERODROME - KMSY		14. TIME 1430 <<=	13. EQUIPMENT - SIC <<=
15. CRUISING SPEED - N0440		16. LEVEL F350 →	17. ROUTE DCT HRV A321 FRISH/N0440F390 UA321 DANUL UR640 MAMBI DCT GCM DCT
<<=			
18. DESTINATION AERODROME - MWCR		19. TOTAL EST 0210	20. ALTN AERODROME - MKJP →
21. OTHER INFORMATION - EET / MMID 00+58 MHTG 01+36 MKJK 02+02 RMK / ADCUS 4 US 2 CAN GRIMES		22. 2ND, ALTN AERODROME <<=	
<<=			
SUPPLEMENTARY INFORMATION (NOT TO BE TRANSMITTED BY FPL MESSAGE)			
23. ENDURANCE HRL. MIN. - E / 0500		24. PASSENGER ON BOARD → P / 16	
25. SURVIVAL EQUIPMENT → S / <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		26. EMERGENCY RADIO → R / <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
27. DINGHIES → D / 01 → 12 → C → YELLOW <<=		28. LIGHT → J / L F <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
29. AIRCRAFT COLOUR AND MARKINGS A / WHITE BLUE		30. REMARKS → N /	
31. PILOT-IN-COMMAND C / GRIMES KHOU (713)644-8361 >>>=		<<=	
FILED BY	ACCEPTED BY	ADDITIONAL INFORMATION	

Рис. 7.3. Пример заполненного плана полёта (FPL)

8. Безопасность аэронавигации

8.1. Предотвращение рисков в процессе аэронавигации

В процессе аэронавигации возникают множество рисков, несущих угрозу безопасности полётов. Для повышения безопасности полётов реализуются следующие мероприятия:

- *предотвращение потерь ориентировки;*
- *предотвращение столкновений воздушных судов с наземными препятствиями или непосредственно с земной поверхностью;*
- *предотвращение столкновений воздушных судов в воздухе;*
- *предотвращение случаев попадания воздушных судов в зонах с опасными метеорологическими явлениями.*

Безопасность аэронавигации обеспечивается тщательной подготовкой к полётам, отличным знанием технических возможностей воздушного судна и его навигационного оборудования, грамотным использованием радиотехнических средств, полным контролем воздушного движения службой ОВД.

8.2. Предотвращение потери ориентировки

В течение всего полёта экипаж обязан знать своё местоположение (место самолёта), иными словами – сохранять ориентировку в полёте.

Ориентировка в полёте может быть потеряна *полностью* или *временно*.

Ориентировка потеряна **полностью**, если экипаж данной причине произвёл посадку вне аэродрома назначения.

Ориентировка потеряна **временно**, если экипаж воздушного судна самостоятельно вывел воздушное судно на аэродром назначения и благополучно произвёл посадку.

Основными причинами потери ориентировки могут являться следующие факторы:

- *недоученность (неподготовленность) экипажем воздушного судна в теории и практики аэронавигации;*
- *плохая (неудовлетворительная) подготовка к предстоящему полёту;*
- *ошибки или неполный расчёт предстоящего полёта, плохой контроль со стороны руководства и командира воздушного судна подготовки к полёту.*
- *неграмотная подготовка навигационного оборудования к полёту;*
- *неисправность или полный отказ навигационного оборудования в полёте.*

8.3. Безопасные высоты полёта

Предотвращение столкновений воздушных судов с наземными препятствиями или непосредственно с земной поверхностью достигается расчётом и выдерживанием безопасных высот полёта.

Безопасная высота полёта ограничивает не только возможность столкновения ВС с препятствиями и земной поверхностью, но и учитывает особенности организации воздушного движения, особенности использования радиотехнических средств навигации по маршруту и т. д.

В РФ применяются следующие безопасные высоты полёта:

Minimum Enroute IFR Altitude (MEA) – минимальная абсолютная высота полёта на участке маршрута, которая обеспечивает адекватный приём радиосигналов соответствующих навигационных средств и средств связи ОВД, соответствует структуре воздушного пространства и обеспечивает необходимый запас высоты над препятствиями.

Запасы высоты, заложенные в расчёт MEA:

- при высоте рельефа до 1500 м (равнинная местность) – 300 м (1000 ft);
- при высоте рельефа более 1500 м (горная местность) – 600 м (2000 ft).

При расчёте MEA полоса учёта препятствий составляет ± 8 км относительно ЛЗП.

Для выдерживания минимальной высоты полёта при установленном на высотомере давлении QNE (STD) на карте предоставляется нижний безопасный эшелон полёта.

Если на высотомере установлено давление QNH отображается нижняя безопасная высота полёта. Таким образом, расчёт MEA осуществляется по стандартной атмосфере, а выдерживаться она может как по давлению QNE (STD), так и по QNH.

Minimum Obstruction Clearance Altitude (MOCA) – минимальная абсолютная высота пролёта полёта на определённом участке маршрута, которая обеспечивает необходимый запас высоты над препятствиями.

При публикации MOCA учитывается наличие уверенного приёма сигналов от маяков VOR по маршруту, с гарантированной устойчивостью приёма радиосигналов на удалении не менее, чем 40 км.

Расчёт MOCA производится по стандартной атмосфере, выдерживается MOCA по давлению QNH. Признаком MOCA является наличие символа «Т» после значения высоты.

Запасы высоты, заложенные в расчёт MOCA, аналогичны запасам высоты, заложенным в расчёт MEA.

Maximum Authorized Altitude (MAA) – максимально разрешённая абсолютная высота в виде эшелона полёта или абсолютной высоты в структуре воздушного пространства или участка маршрута.

Значение MAA публикуется вдоль маршрута в футах или номером эшелона полёта. При полёте по маршруту высота определяется между MEA и MAA.

Minimum Holding Altitude (MHA) – минимальная абсолютная высота полёта в зоне ожидания, которая обеспечивает устойчивый приём сигнала кон-

трольного радиосредства зоны ожидания, двустороннюю радиосвязь и соответствует требованиям безопасного пролёта препятствий (рис. 8.1).

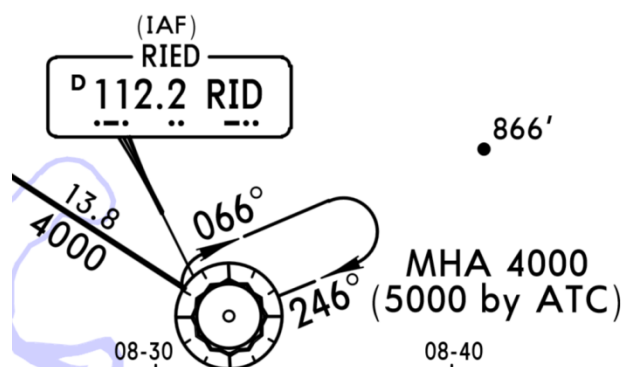


Рис. 8.1. Публикация МНА.

Minimum Sector Altitude (MSA) – наименьшая абсолютная высота, которая обеспечивает минимальный запас высоты 300 м (1000 ft) над всеми объектами, находящимися в секторе круга радиусом 50 км, в центре которого находится радионавигационное средство.

Данная высота необходима в случае отклонения самолёта от основного установленного маршрута (схемы). Запасы высоты, заложенные в расчёт MSA аналогичны запасам, взятым в расчёт во всех предыдущих случаях (300 м при высоте рельефа до 1500 м и 600 м при высоте рельефа более 1500 м).

MSA указывается в окружности под которой указывается опорное радионавигационное средство (рис. 8.2). Если MSA разбита по секторам согласно высоте препятствий, то в каждом из секторов будет обозначена своя абсолютная минимальная высота. На разделительных линиях обозначены пеленги на опорное радионавигационное средство.

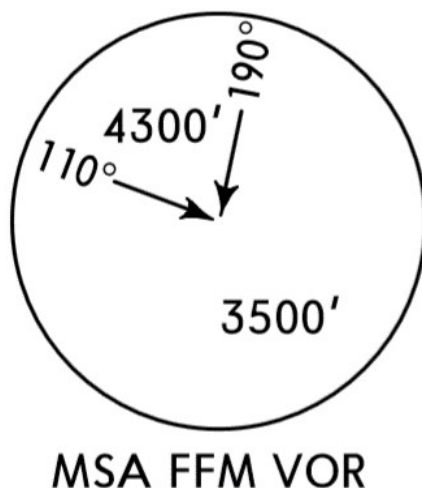


Рис. 8.2. Публикация MSA.

Minimum Vectoring Altitude (MVA) – наименьшая абсолютная высота, используемая службами ОВД для векторения воздушных судов. Обозначается на

специальных картах (рис. 8.3) и соответствует структуре воздушного пространства в районе аэродрома.

Нарушение безопасных высот, неучёт искусственных препятствий, незнание точного положения воздушного судна, грубые нарушения основных правил аэронавигации приводят к угрозе столкновения воздушного судна с земной поверхностью!

8.4. Система раннего предупреждения о близости земли

На современных воздушных судах устанавливаются специальные приборы и специальное оборудование, помогающие предотвращать столкновение воздушных судов с землей, предупреждая экипаж о приближении к объектам на земной поверхности. Предупреждающие и исполнительные команды носят речевой характер, световой и звуковой характер. Данная система получила название система раннего предупреждения о близости земли (СРПБЗ).

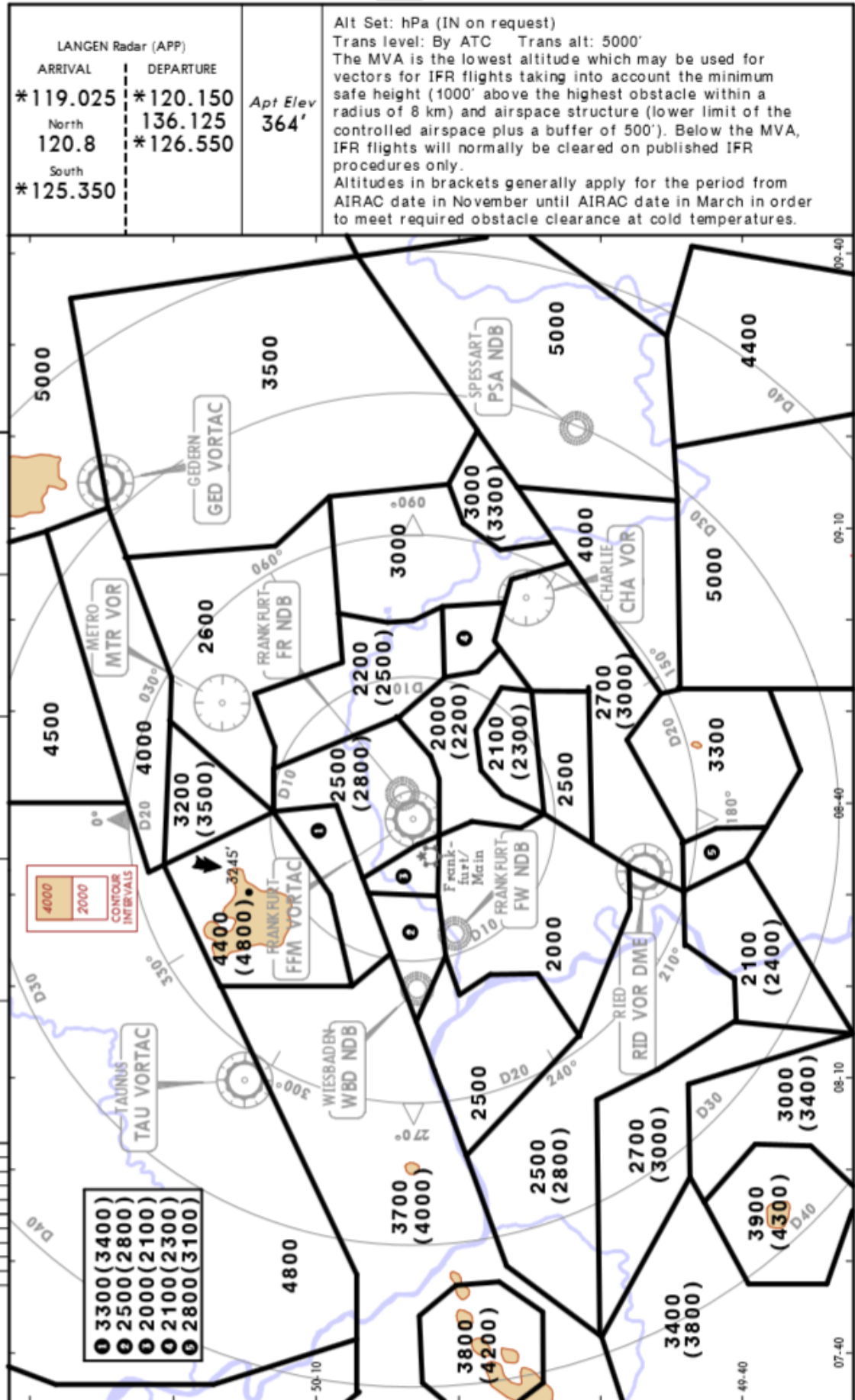
Начиная с 2005 года, в большинстве регионов мира, в том числе и в РФ, необходима установка и использование систем предупреждения о приближении к земле, имеющих обозначение GPWS (Ground Proximity Warning System).

В настоящее время разработаны и применяются системы с функцией раннего предупреждения близости земли, которые также осуществляют вывод информации о характере подстилающей поверхности на индикатор воздушной обстановки EGPWS/TAWS (Terrain Awareness and Warning System).

Новое поколение систем раннего предупреждения близости земли (СРПБЗ) – Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS) использует информацию о рельефе местности, хранимых в базе данных самой системы.

Вычислитель системы сравнивает показания текущих высот, на которых выполняется полёт, с высотами рельефа пролетаемой местности и оценивают степень опасности сближения с рельефом.

В зависимости от уровня опасности складывающейся ситуации меняется цветовая гамма, отображаемая на экране системы, и генерируется звуковое сообщение в наушниках экипажа или громкоговорящей связи внутри кабины (рис. 8.4).



CHANGES: Altitudes and sectors revised.

© JEPPESEN, 2015. ALL RIGHTS RESERVED.

Рис. 8.3. Карта минимальных безопасных высот для векторения ВС. Воспроизведено с разрешения JEPPESEN (A BOEING COMPANY). Не предназначено для навигации – только для информации.

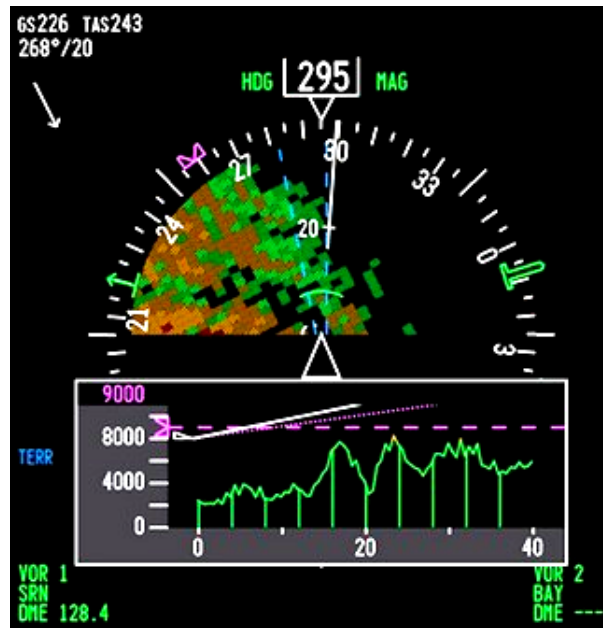


Рис. 8.4. Отображение рельефа местности и безопасного профиля полёта на навигационном дисплее самолёта Boeing 737 Next Generation

Команды, формируемые системой EGPWS, делятся на 2 группы:

- *ALERT* (мягкая команда) – предупреждение о подходе к зоне опасных условий полёта. Например, голосовые команды: «SINKRATE!» или «TERRAIN TERRAIN!»;

- *WARNING* (жесткая команда) – формируется при возникновении угрозы безопасности полёта. В данном случае экипаж ВС должен немедленно выполнить предписываемую команду. Например, голосовая команда: «PULL UP!»

По рекомендациям *WARNING* выстраивается безопасный профиль полёта, особенно при сложном рельефе местности (рис. 8.5).

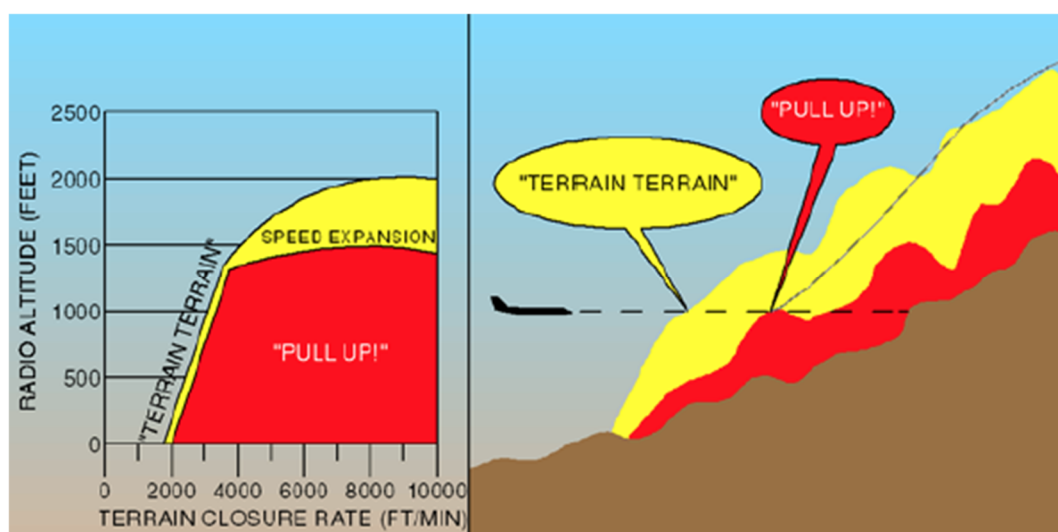


Рис. 8.5. Построение безопасного профиля полёта системой EGPWS при сложном рельефе местности

Для точного определения местоположения ВС относительно пролетаемой местности используются данные от спутниковых навигационных систем.

Наиболее точную информацию о рельефе местности, полностью совпадающей с поверхностью земли, представляет собой ЦМР – цифровая модель рельефа (DEM – Digital Elevation Model).

Цифровая модель рельефа создаётся путём обработки фотоснимков ландшафта из космоса и электронных векторных карт.

ЦМР является источником данных для работы системы TAWS (Terrain Awareness Warning System).

Команды системы в режиме WARNING имеют абсолютный приоритет над указаниями и разрешениями органа ОВД.

8.5. Предотвращение столкновений ВС в воздухе

При интенсивном воздушном движении, ВС могут сближаться между собой на недопустимо близкие дистанции, как по высоте, так и на предельно малые дистанции по боковому интервалу.

Причиной опасных сближений и тем более столкновений ВС в воздухе, является неграмотное и халатное обслуживание ВД со стороны службы ОВД.

Несмотря на ответственность диспетчеров ОВД с экипажем ВС также не снимается ответственность за знание воздушной обстановки в выполняемом полёте. Для предупреждения экипажей об опасном сближении на ВС установлена бортовая система предотвращения столкновений ВС в воздухе (БСПС).

БСПС предназначена для выдачи пилотам советов с тем, чтобы они могли избежать столкновений при возникновении потенциальной опасности столкновения. Эта цель достигается путём выдачи рекомендаций по разрешению угрозы столкновений (RA – Resolution Advisory), которые предлагают соответствующие действия пилота (включая манёвры), а также путём выдачи консультативной информации о воздушном движении (ТА – Traffic Advisory), которое является поводом для визуального обнаружения и сигнализируемой о возможности выдачи RA.

Система БСПС (TCAS – Traffic Collision Avoidance System) является резервной (вспомогательной) системой, служащей предотвращению столкновений ВС совместно с традиционной службой ОВД.

Система TCAS в базовой конфигурации состоит из установленных на ВС антенн направленного и ненаправленного действия, блока вычислителя TCAS, ответчика режима «S» и установленных в кабинах экипажей индикаторов и пультов управления системой, совмещённых с ответчиком вторичной радиолокации (рис. 8.6).



Рис. 8.6. Пульт управления бортовым ответчиком ВОРЛ и системой TCAS самолёта Boeing 737 Next Generation

Система TCAS использует принцип вычисления времени, вырабатывая в данный момент времени предупреждения о воздушной обстановке (ТА) и рекомендации по устранению конфликтной ситуации (РА).

Формируются органами системы 2 временные зоны (рис. 8.7). Одна из них зона повышенного внимания и зону предупреждения о возникшем конфликте, в которой выдаётся рекомендации по устранению конфликтной ситуации (РА).

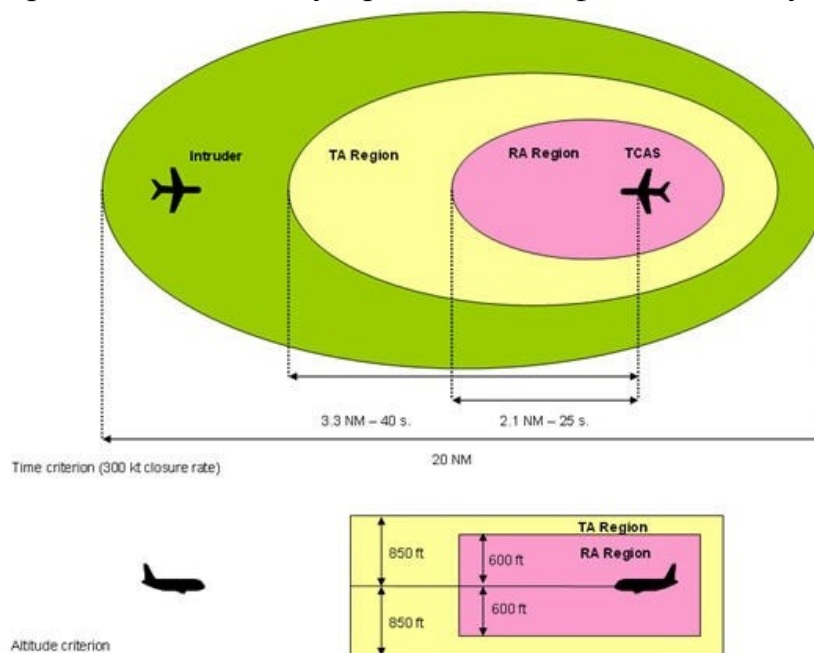


Рис. 8.7. Разворот в точках Fly-by и Fly-over

Для эффективного использования системы TCAS крайне важна своевременная и адекватная реакция лётного экипажа на рекомендации системы. Необходимо немедленно реагировать на любую рекомендацию системы по выполнению манёвра, что в значительной мере обеспечивает эффективность использования системы.

8.6. Предотвращение попадания воздушных судов в зоны с опасными метеорологическими явлениями

В процессе выполнения полётов ВС могут попасть в зоны опасных метеорологических явлений. Этими явлениями могут быть *шквалы, грозы, смерчи, пыльные бури, выбросы вулканического пепла*, разнесённого на огромные территории ветром на больших и малых высотах. Все эти явления опасны для авиации, поэтому экипаж обязан уметь обходить и ни в коем случае не попадать в такие условия, которые составляют угрозу безопасности полётов.

Опасность полётов в зоне деятельности грозовой активности связана с большой турбулентностью воздуха, сильнейшими сдвигами ветра, шквалами. При попадании в грозовую облачность возможна электризация, грозовые разряды, наличие сильного обледенения, поражение обшивки воздушного судна градом и выхода из строя оборудования и даже самовыключение работающих двигателей от действий грозы и шквала.

На ВС без радиолокационных станций мощно-кучевую и кучево-дождевую облачность, а так же облака, прилегающие к грозовым, необходимо обходить визуально на расстоянии не ближе 10 км. При создавшейся возможности облака можно облетать снизу в равнинной или холмистой местности и только днём визуально, но запрещено входить в зоны ливневых осадков. Высота полёта над местностью и высота нижней границы облаков над воздушным судном при этом должна составлять 200 м. Грозовую облачность необходимо обходить в сторону понижения рельефа местности.

На ВС оборудованных радиолокационными станциями, разрешён обход видимых на индикаторе грозовых (ливневых) очагов как визуально, так и по приборам, следуя на заданной высоте при удалении от их края не ближе 10 км.

Пересечение фронтальной облачности возможно, если расстояние между грозовыми очагами, так называемыми «засветками» на экране локатора, не менее 50 км.

Разрешён пролёт над грозовой облачностью с превышением над её верхней кромкой не менее 500 м.

Современные бортовые радиолокаторы в цветовом спектре отображают наиболее опасные участки грозовой деятельности, обращая внимание экипажей на зоны повышенного сдвига ветра и зоны повышенной электризации. Бортовые компьютеры, при наличии специальной программы, предлагают экипажам наиболее оптимальные маршруты обхода опасных для авиации зон грозовой деятельности.

9. Особенности аэронавигации вертолётов

9.1. Общие сведения о вертолётах

Вертолёт — винтокрылый летательный аппарат, у которого подъёмная и движущая силы на всех этапах полёта создаются одним или несколькими несущими винтами с приводом от одного или нескольких двигателей.

Основным преимуществом вертолёта перед самолётом является возможность сбрасывать скорость до 0 в воздухе (зависать на месте), поэтому вертолёты нашли широкое применение в народном хозяйстве. Наиболее часто вертолёты применяются для *строительно-монтажных, транспортно-связных и погрузочно-разгрузочных работ*.

Очень важно использование вертолётов на крайнем Севере, где попросту отсутствуют другие возможности добраться в пункт назначения. Стоит отметить, что для эксплуатации вертолётов не требуется строительства специальной инфраструктуры. Посадка вертолёта может быть выполнена на разборную посадочную площадку (рис. 9.1).

Вертолёты, работающие в северных районах, имеют специальную оранжевую окраску для облегчения поисково-спасательных работ в случае возникновения аварийных обстоятельств.

В Российской Федерации наиболее широкое распространение получил вертолёт типа Ми-8Т (транспортный), разработанный в КБ М. Миля.



Рис. 9.1. Вертолёт Ми-8 на разборной посадочной площадке

Масса пустого вертолёта составляет 7 т, максимальная взлётная масса – 12 т, потолок – 5000 м (16000 ft), дальность полёта – 500 км, максимальная скорость – 250 км/ч.

9.2. Аэронавигация вертолётов

Стоит отметить относительно невысокую крейсерскую скорость вертолёта, которая составляет 180 – 220 км/ч, а также то, что вертолёту приходится действовать на малых (200 – 1000 м) и предельно малых (до 200 м).

Ми-8Т в базовой конфигурации имеет следующее навигационное оборудование:

- 1 комплект АРК;
- 1 комплект курсовой системы ГМК-1.
- 2 указателя гиромагнитного радиокompаса (УГР) – у КВС и второго пилота.

В её состав входят:

- Гироагрегат;
- Индукционный датчик;
- Авиационные бортовые часы (АЧС);

Показания курсовой системы и АРК совмещены на единственном типе указателя – УГР. УГР (рис. 9.2) позволяет с помощью кремальеры-задатчика задавать ЗПУ участка пути.



Рис. 9.2. Указатель гиромагнитного радиокompаса (УГР).

Таким образом, вертолёт Ми-8 имеет довольно скудное навигационное оборудование, впрочем, районы полётов вертолётов также бедны радионавигационными средствами. Очевидно, что единственным наземным радиотехническим средством навигации, которое может использовать вертолёт, является приводная радиостанция или широкоэмиттерная радиостанция.

Часто маршрут вертолёта не проходит строго через приводные радиостанции. Напротив, небольшое число (чаще всего 1-2) радиостанции расположены произвольно в районе полётов, но экипажу нужно уметь определять своё местоположение даже в таких условиях.

Широкое применение получил метод определения места ВС по одной радиостанции двукратным пеленгованием и прокладкой пеленгов на карте (рис. 9.3).

Место ВС определяется в следующем порядке:

1. Настроить радиокompас на выбранную радиостанцию, прослушать позывной и убедиться в ее работе.
2. Отсчитать $KУР_1$, курс и время. Записать данные пеленгаций в штурманский боржурнал. Отсчитать $ИПС_1$ и время.

3. Выполнять полет с прежним курсом. Как только КУР изменится на 25—30°, отсчитать КУР₂ и время. Записать данные в штурманский бортжурнал. Отсчитать ИПС₂ и время.

4. Рассчитать первый и второй истинные пеленги самолета и проложить их на карте от пеленгуемой радиостанции.

5. Из любой точки первого пеленга отложить линию истинного курса и расстояние, пройденное вертолётом за время между первым и вторым пеленгованием: $S_{ПР} = W * t$.

6. Через конечную точку $S_{ПР}$ провести линию, параллельную линии первого пеленга. Точка пересечения ее с линией второго пеленга будет местом самолета в момент второго пеленгования.

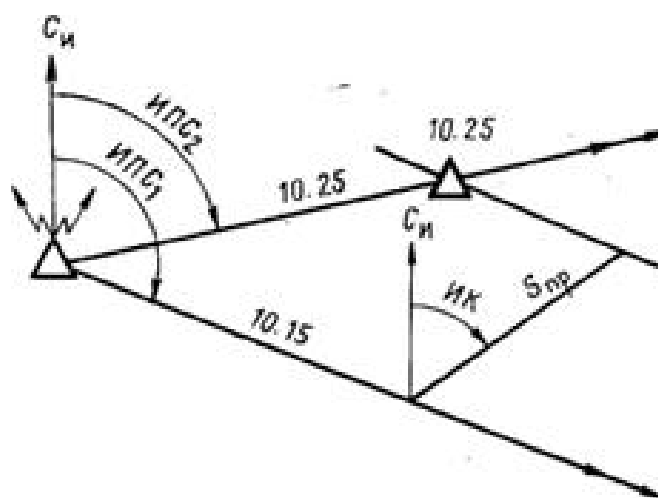


Рис.9.3. Определение места ВС двукратным пеленгованием одной радиостанции

До появления спутниковых навигационных систем, вышеизложенный метод зачастую являлся единственным методом определения местоположения, поэтому аэронавигация вертолётов в полярных районах была сложным и опасным делом, требующим повышенного внимания от экипажа в отношении навигации. Высока была частота полных потерь ориентировки.

Ситуация начала меняться с появлением приёмников спутниковых навигационных систем, которые начали тут же устанавливать на вертолёты. Наиболее широкое применение получили автономные приёмники GPS фирмы GARMIN (рис. 9.4), которыми на сегодняшний день оснащены большинство вертолётов Ми-8Т.



Рис. 9.4. Один из типов автономных приёмников GPS фирмы GARMIN

В этих приёмниках имеется возможность решать все навигационные задачи выполняемого полёта. С высокой точностью определяются место воздушного судна (его координаты), определяются все необходимые навигационные элементы (путевая скорость, пройденное и оставшееся расстояние, ФПУ, геодезическая высота и т. д.). Помимо этого решается задача вертикальной навигации и, при наличии необходимых данных, топливно-временная задача по этапам полёта. Программа насыщена данными о радиотехнических средствах и данными об аэродромах и посадочных площадках для вертолётов для использования экипажем в полёте. Помимо этого, возможно извлечение необходимой аэронавигационной информации, например, частот связи с органами ОВД.

Однако, т. к. данное устройство является автономным, оно, хоть и серьёзно облегчает работу экипажа, но не имеет связи с автоматизированной системой управления вертолётом (автопилотом). В последние годы развёрнуто производство вертолётов нового образца, оснащённых современным интегрированным пилотажно-навигационным оборудованием. Индикация всех параметров представлена на дисплеях, реализуется принцип «стеклянной кабины» (рис. 9.5). Есть возможность ввода программы полёта и выполнение этой программы автопилотом вертолёта.



Рис. 9.5. Интегрированное пилотажно-навигационное оборудование вертолёта Ми-8 последних модификаций

Заключение

На современном этапе развития мировой гражданской авиации, наиболее востребованы как автоматизированное обслуживание воздушного движения, так и высокая автоматизация управления непосредственно самими воздушными судами. Яркими примерами таких систем являются системы типа FMS (Flight Management System), которыми оборудованы высокоавтоматизированные ВС.

Следующим направлением в мировой гражданской авиации является развитие средств и оборудования автоматизированного захода на посадку в сложных метеоусловиях. Разрабатывается теория и практика применения спутниковых навигационных систем для точных и неточных заходов на посадку, а также для заходов на посадку в автоматизированном режиме.

Литература

1. Чёрный М. А., Кораблин В. И. Воздушная навигация: М. Транспорт, 1991.
2. Сарайский Ю. Н. Геоинформационные основы навигации: Учебное пособие/Университет ГА. СПб, 2010.
3. Сарайский Ю. Н., Алешков И. И. Аэронавигация. Часть I. Основы аэронавигации и применение геотехнических средств: Учебное пособие. 2-е изд., исправл./Университет ГА. СПб, 2013.
4. Сарайский Ю. Н., Липин А. В., Либерман Ю. И. Аэронавигация. Часть II. Радионавигация в полёте по маршруту: Учебное пособие/Университет ГА. СПб, 2013.
5. Липин А. В. Аэронавигация в международных полётах: Учебное пособие/Университет ГА. СПб, 2014.