

# ОСНОВЫ ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ

## Тема 1. Основное содержание и задачи воздушной навигации

Занятие 1.1. Основное содержание и задачи воздушной навигации.

1. Определение, основное назначение и задачи воздушной навигации.
2. Классификация технических средств воздушной навигации.
3. Оценка точности навигационных измерений и определений.

## Введение

**Цель дисциплины «Воздушная навигация»** - подготовить летный состав и лиц управления полетами к решению навигационных задач в процессе выполнения полета.

Точность, надежность и безопасность полетов обеспечиваются исправностью техники и высоким уровнем подготовки экипажей, включающим отличное знание основных руководящих документов летной деятельности, навигационного оборудования ЛА и умелое использование его в полете.

Во всех случаях **для успешного и непрерывного управления движением ЛА** экипаж в полете или лица, управляющие им с земли, с достаточной точностью **должны знать:**

- положение ЛА в пространстве в данный момент времени;
- координаты цели в каждый текущий момент времени;
- по какой траектории и с какой скоростью необходимо выполнять полет в заданную точку.

# 1. Определение, основное назначение и задачи воздушной навигации.

**Воздушная навигация** - прикладная авиационная наука о точном, надежном и безопасном вождении в воздухе пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов из одного пункта в другой по оптимально установленной пространственно-временной траектории.

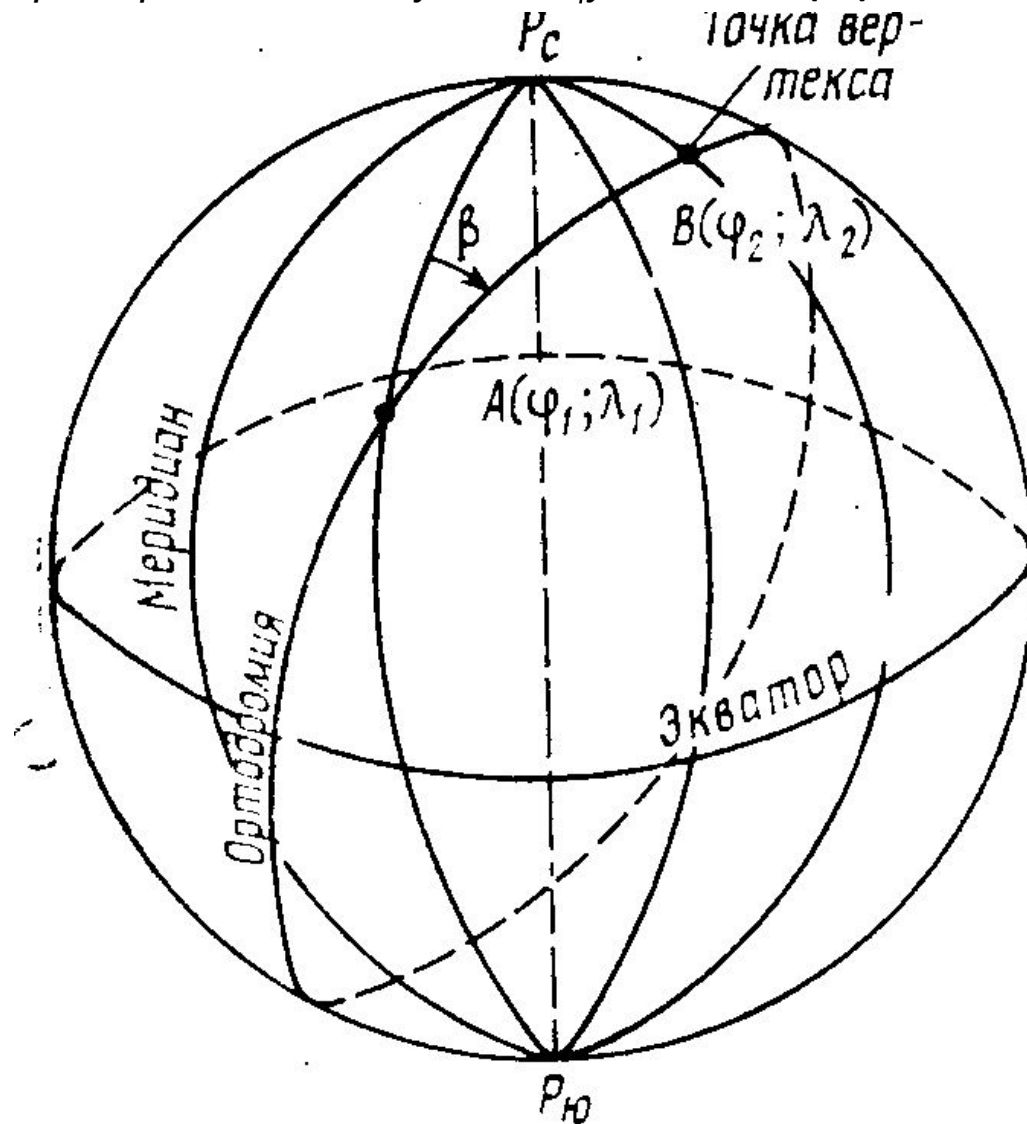
Воздушная навигация предназначена для изучения правил подготовки к полетам и их выполнения; способам применения технических средств навигации в полете; способам обеспечения точного вывода ВС в заданную точку в назначенное время и безопасности выполнения полетов. Она является составной частью штурманской подготовки

## 1.1. Траектория полета, основные линии пути, используемые в авиации.

**Траектория полета** – это линия, описываемая центром масс ЛА (БЛА) в процессе его движения в пространстве. В ВН наряду с траекторией полета как пространственной кривой рассматривают **линию пути**, которая является ее проекцией на земную поверхность. Проекция траектории на вертикальную плоскость – есть **профиль полета**.

В навигации имеются два вида линии пути: ортодромическая и локсодромическая. Каждая из них имеет определенные свойства и геометрический вид на земном шаре.

**Ортодромия** - линия кратчайшего расстояния между двумя точками на поверхности земного шара. Геометрически ортодромия представляет собой дугу большого круга. В общем случае она пересекает меридианы под различными углами. Угол, под которым ортодромия в начальной точке пересекает меридиан, принято называть *ортодромическим путевым углом* **ОПУ**( )



В частных случаях ортодромия может совпадать с одним из меридианов или экватором. При этом ОПУ остается постоянным и равным в первом случае 0 или  $180^{\circ}$ , а во втором -  $90$  или  $270^{\circ}$ .

Полет по ортодромии может быть выполнен только с помощью курсовых приборов, способных измерять условный курс.

На полетных картах ортодромия между двумя точками, расположенными на расстоянии до 1000 - 1200 км, практически изображается прямой линией. При этом ОПУ и длину по ортодромии можно измерить по карте.

На больших расстояниях ортодромия имеет вид кривой линии, обращенной выпуклостью к полюсу. В этом случае ОПУ рассчитывают по формулам сферической тригонометрии:

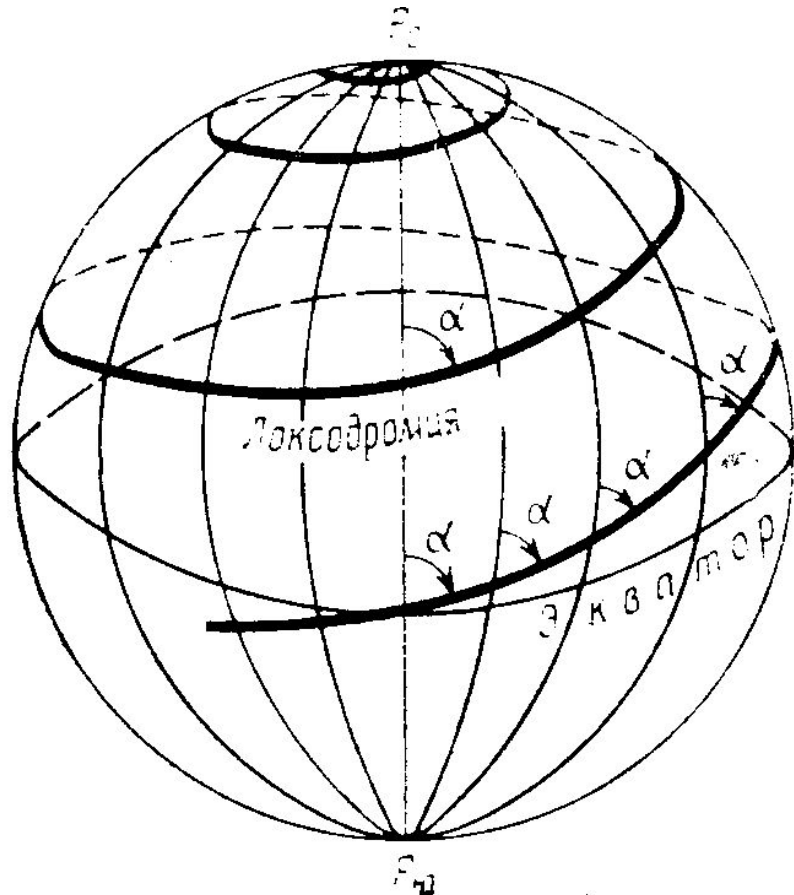
$$\operatorname{ctg}\beta = \cos\varphi_1 \times \operatorname{tg}\varphi_2 \times \operatorname{cosec}(\lambda_2 - \lambda_1) - \sin\varphi_1 \times \operatorname{ctg}(\lambda_2 - \lambda_1),$$

Расчет длины пути по ортодромии между двумя точками выполняют по одной из следующих формул:

$$\sin S_{\text{орт}} = \sin(\lambda_2 - \lambda_1) \times \cos\varphi_2 / \sin\beta;$$

$$\cos S_{\text{орт}} = \sin\varphi_1 \times \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \times \cos\varphi_2 \times \cos(\lambda_2 - \lambda_1).$$

**Локсодромия** - линия на поверхности земного шара, пересекающая меридианы под постоянным углом. Угол, под которым локсодромия пересекает меридианы, называется *локсодромическим путевым углом*. В общем случае локсодромия представляет собой пространственную логарифмическую спираль, которая огибает земной шар бесконечное число раз и стремится к полюсу, но никогда не достигает его.



Своей выпуклостью она обращена всегда к экватору. Указанный вид локсодромии объясняется тем, что ее путевой угол относительно каждого меридиана остается постоянным, а сами меридианы не параллельны друг другу, а сходятся к полюсам. Исключение составляют меридианы, параллели и экватор, которые также являются локсодромическими линиями.

Путь по локсодромии длиннее пути по ортодромии, кроме случаев, когда она совпадает с меридианом или экватором

. Разность длин зависит от разности долгот начальной и конечной точек локсодромии, ее направления и значения широты. Наибольшая разность длин имеет место, когда локсодромия совпадает с параллелью.

Локсодромический путевой угол для каждого участка маршрута измеряют непосредственно на карте транспортиром относительно среднего меридиана данного участка. Длину пути по локсодромии также измеряют на карте с помощью сантиметровой линейки.

Полет по локсодромии выполняется с постоянным курсом, выдерживаемым по магнитному или гироскопическому компасу, поэтому технически он проще, чем полет по ортодромии. Однако полет по локсодромии экономически невыгоден, так как выполняется не по кратчайшему пути.

## **1.2. Частные задачи воздушной навигации.**

Из определения следует, что **основной задачей ВН** является выполнение точного, надежного и безопасного вождения ЛА по установленной траектории с выходом в заданные точки маршрута (поворотные пункты, аэродром посадки) в назначенное время.

Указанная основная задача включает ряд частных задач, к которым относятся:

### **Первая задача: выбор траектории полета и программирование маршрута.**

Практически первая задача решается на земле перед выполнением полета. Выбор оптимальной траектории осуществляется на основе полученного задания на полет. Выбранная или заданная траектория полета прокладывается на полетной карте в виде линии заданного пути, программируется и вводится в память БЦВМ навигационной системы. Однако в некоторых случаях она может решаться и в воздухе, в частности при изменении полетного задания.

## **Вторая задача: определение текущих координат ЛА в полете.**

Определение навигационных элементов полета должно обеспечивать:

- выполнение полета по заданной траектории и точный вывод ЛА в указанные точки по времени.

Определение текущих координат ЛА производится путем их автоматического счисления в навигационной системе и коррекции с помощью устройств, позволяющих периодически определять координаты ЛА с достаточно высокой точностью.

**Третья задача: определение навигационных элементов полета,** обеспечивающих выполнение поставленной задачи, решается на основании решения первой и второй задач.

**Навигационными элементами полета** называются параметры, характеризующие пространственное место самолета и вектор его скорости в данный момент. При этом параметры, характеризующие текущее пространственное место ЛА (обобщенные координаты и высота  $H$ ), называются навигационными элементами положения.

А параметры вектора скорости или ее составляющих (путевой угол  $\text{ПУ}$ , путевая скорость  $W$  и вертикальная скорость  $V_y$ ) - **навигационными элементами движения.**

Основные параметры, которые необходимо выдерживать для строгого выполнения полетного задания, это, прежде всего, курс ЛА, высота и скорость полета



### 1.3. Местоположение и линии положения летательного аппарата.

**Местоположением ЛА** называется та точка земной поверхности, над которой находится ЛА (проекция его центра масс на земную поверхность к определенному моменту времени). Положение этой точки определяется указанием двух координат (например, геодезические широта и долгота)

**Место ЛА** может, также определяться, как точка пересечения двух линий положения, которые получены в полете с помощью технических средств навигации.

**Линией положения (ЛП)** называется воображаемая линия на земной поверхности или линия на карте **вероятного местонахождения ЛА**, характеризующаяся постоянством измеренного навигационного параметра.

Каждую ЛП определяют по результатам измерения какой-либо величины, например, угла, расстояния, разности расстояний, высоты небесного светила

Основными ЛП являются линии равных азимутов, расстояний, разности расстояний и высот светила.

**Линия равных азимутов (пеленгов)** - линия положения, характеризующаяся постоянством измеренного азимута (пеленга).

**Линия равного пеленга (ЛРП)** представляет собой линию, проходящую через радионавигационную точку (РНТ) и ВС. Для всех типов угломерных радионавигационных систем эта линия является основным видом линий положения. Так как радиоволны обладают свойством распространяться по кратчайшему расстоянию, то, следовательно, ЛРП является ортодромией.

**Линия равных дальностей (расстояний) (ЛРР)** - линия положения, все точки которой находятся на одинаковом удалении от некоторой фиксированной точки на земной поверхности. Как линия положения ЛРР получается при использовании дальномерных радионавигационных систем. На поверхности земного шара она изображается окружностью малого круга.

**Линия равных разностей расстояний (ЛРРР)** - линия положения, в каждой точке которой разность расстояний до двух наземных радионавигационных станций имеет постоянное значение. Такие ЛП образуются при применении разностно-дальномерных радиотехнических систем дальней навигации (РСДН), обычно называемых гиперболическими системами. На картах они имеют вид гипербол, точное построение которых требует сложных расчетов. Поэтому сетка гипербол печатается на специальных картах при их издании.

**Астрономическая линия положения (АЛП)** - представляет собой отрезок прямой линии, касательной к кругу равных высот светила. Элементы этой линии рассчитывают по измеренной с помощью секстанта высоте небесного светила. Как линия положения АЛП всегда перпендикулярна азимуту светила в момент его наблюдения.

***Контрольные вопросы:***

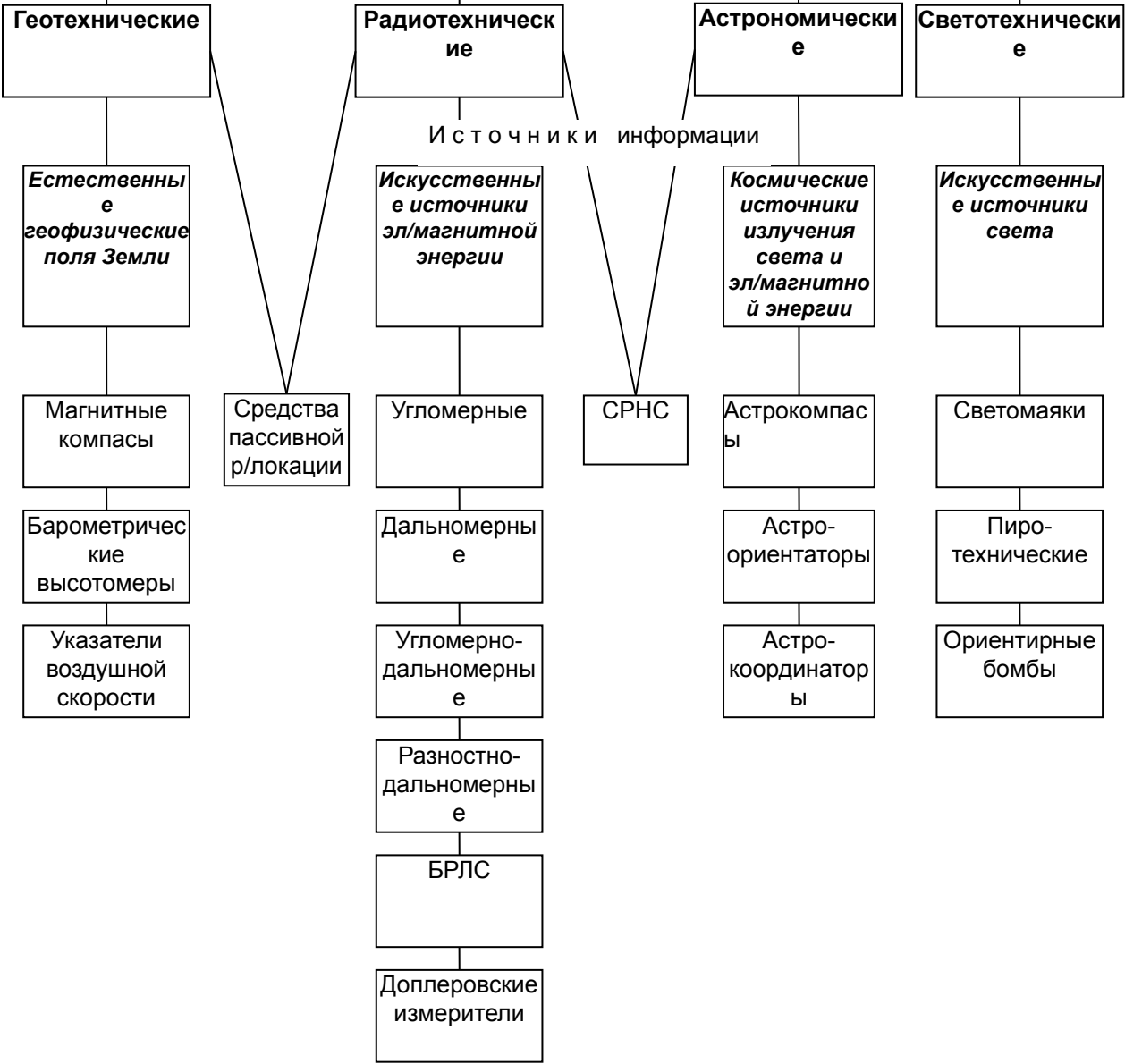
1. Определение и назначение ВН.
2. Что должны знать лица, управляющие БЛА с земли для успешного и непрерывного управления движением.
3. Траектория полета, линия пути, профиль полета. Виды линии пути.
4. Ортодромия.
5. Локсодромия.
6. Основное содержание ВН.
7. Основная задача ВН.
8. Частные задачи ВН.
9. Навигационные элементы полета, навигационные элементы движения.
0. Основные параметры, которые необходимо выдерживать для строгого выполнения полетного задания.

## **2. Классификация технические средства воздушной навигации.**

Решение задач ВН осуществляют с помощью специальных приборов, устройств и систем, которые принято называть техническими средствами воздушной навигации, основанных на использовании свойств естественных или специально создаваемых физических полей, таких, как геофизические (естественные) поля Земли, электромагнитные поля наземных радиостанций, бортовых радиотехнических устройств и радиопередатчиков искусственных спутников Земли, световые (электромагнитные) поля небесных светил и др.

# Технические средства навигации

Основные группы



***Контрольные вопросы:***

1. Источники данных для ТС ВН.
2. Классификация ТС ВН.

### 3. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ.

#### 3.1 Оценка точности определения линии положения.

Рассмотрим от чего зависит точность ЛП и как ее оценивают. Обозначим измеряемый параметр, определяющий ЛП (*пеленг, расстояние*) через  $U$ , *погрешность измерения* -  $\Delta u$  и *погрешность определения* -  $\Delta p$ .

При точном измерении параметра  $U$  полученная линия положения пройдет через место ЛА, В случаях измерения параметра с погрешностью  $\Delta u$  ЛП сместится относительно фактической на величину  $\Delta p$ , может быть как положительной, так и отрицательной. Поэтому проложенная на карте и рассчитанная ЛП может пройти как справа, так и слева относительно фактической

*Погрешность определения ЛП любого вида*

$$\Delta p = K \cdot \Delta u,$$

где  $\Delta u$  - погрешность измерения параметра;  $K$  - коэффициент пропорциональности, который показывает, на какое линейное значение смещается ЛП при отклонении измеряемой величины на единицу измерения. Он для каждого конкретного вида ЛП имеет свое значение.

Линейную величину  $\Delta r$  линии радиопеленга на удалении  $D$  от радиостанции при известной погрешности пеленга  $\Delta \Pi$  можно выразить формулой:

$$\Delta r = 0,0175 \cdot \Delta \Pi \cdot D ,$$

Дальномерные системы обеспечивают получение ЛП, имеющих вид концентрических окружностей которые принято называть линиями равных расстояний (ЛРР). Для них верно:  $\Delta r = D_{изм} - D_{ф} = \Delta D$

Поскольку случайные погрешности  $\Delta r$  линий положения подчиняются нормальному закону распределения, то точность определения ЛП принято оценивать среднеквадратической погрешностью (СКП)  $\sigma_r$ , которую находят по **формуле**  $\sigma_r = K \cdot \sigma_{и}$ .

Вследствие погрешностей ЛП может занимать любое положение в пределах полосы положения. Вероятность того, что рассчитанная ЛП не выйдет за пределы указанной полосы, равна 0,68.



## 3.2 Оценка точности определения места ЛА.

Наиболее важной частной задачей ВН является определение места ЛА, т. е. той точки на земной поверхности, в которую в данный момент проектируется центр масс ЛА.

Широкое применение имеет позиционный способ, который основан на определении точки пересечения двух линий положения ЛА. Поскольку ЛП не могут быть определены точно, место ЛА находят с погрешностью.

Важно знать, что точка пересечения ЛП в общем случае является центром, вокруг которого рассеиваются фактические места ЛА. Эту точку называют центром рассеивания. Обычно граница рассеивания имеет форму эллипса. В ВН для приближенной оценки точности определения места ЛА принято считать, что граница рассеивания представляет собой окружность, т.е. рассеивание фактических мест считают круговым и подчиненным нормальному закону распределения.

Точность определения места ЛА характеризуют среднеквадратической радиальной погрешностью  $\sigma_r$ , которая в воздушной навигации принята за основную меру точности определения места ЛА.

При определении места ЛА по различным линиям положения, значение  $\sigma r$  рассчитывают по соответствующим формулам.

1. Место ЛА определено по двум пеленгам:  $\sigma r = \sqrt{\sigma p_1^2 + \sigma p_2^2} / \sin \omega$ ;

где  $\sigma p_1, \sigma p_2$  – среднеквадратическая погрешность определения первой и второй линии положения, а  $\omega$  - угол пересечения ЛП.

2. Место ЛА определено по двум дальностям:  $\sigma r = \sqrt{\sigma_{Д1}^2 + \sigma_{Д2}^2} / \sin \omega$ .

3. Место ЛА определено по пеленгу и дальности:  $\sigma r = \sqrt{0,0175Д \cdot \sigma_{П}^2 + \sigma_{Д}^2}$

Для практики ВН важно также знать вероятностную оценку определения места ЛА. Для кругового рассеивания вероятность того, что частная радиальная погрешность определения места ЛА не выйдет за пределы круга, радиус которого  $R = \sigma r$ , составляет 0,632. Для случаев, когда  $R = 2 \sigma r$  и  $R = 3 \sigma r$ , вероятность соответственно равна 0,982 и 0,999.

Под **безопасностью полета** в навигационном отношении понимают исключение случаев попадания ЛА в условия, которые могут привести к летным происшествиям. К ним относятся потеря ориентировки, попадание в зоны с опасными метеорологическими условиями, возможность столкновения с наземными (водными) препятствиями и другими ЛА в воздухе и др.

Под **надежностью полета** в навигационном отношении понимается вероятность выполнения полета в пределах допустимых отклонений от заданной траектории и заданного времени следования по ней. Чем выше указанная вероятность, тем надежнее выполняется полет.

***Контрольные вопросы:***

1. Погрешность измерения.
2. Систематические погрешности измерения.
3. Случайные погрешности измерений.
4. Среднеквадратическая погрешность.
5. Оценка точности определения места ЛА.
6. Надежность полета.
7. Безопасность полета.