

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНТРАНС РОССИИ)
АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)
ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ"**

АЭРОНАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТОВ

Методические указания
по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы
для студентов заочного факультета специализации
«Организация летной работы» и профиля подготовки «Летная эксплуатация
гражданских воздушных судов»

Одобрено и рекомендовано к изданию
Учебно-методическим советом Университета

Ш87(03)

Аэронавигационное обеспечение полетов: Методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы / Университет ГА. С.-Петербург, 2016.

Издаются в соответствии с программой дисциплины «Аэронавигационное обеспечение полетов» (108 ч).

Содержат программные вопросы, теоретические сведения и задания для контрольной работы.

Предназначены для студентов заочного факультета специализации «Организация летной работы» и профиля подготовки «Летная эксплуатация гражданских воздушных судов».

Ил. 4, табл. 3 , библи. 12 назв.

Составитель

И.И. Алешков, канд.техн.наук

Рецензент

В.Ф. Кравцов, канд.техн.наук доц.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Дисциплина "Аэронавигационное обеспечение полетов" является профилирующей, определяющей уровень профессиональной подготовки инженеров-пилотов.

Её цель - дать студентам знания на современном научно-техническом уровне по аэронавигационному обеспечению полетов, оценке надежности полета в навигационном отношении, построению схем маневрирования в районе аэродрома, определению минимумов аэродромов для взлета и посадки воздушных судов, подготовке данных для навигационно-пилотажных комплексов, подготовке к полетам с использованием автоматизированных систем.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

ИМЕТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ:

- о путях решения проблем аэронавигационного обеспечения полетов;
- о принципах решения задач в автоматизированных системах наземного аэронавигационного обеспечения полетов;

ЗНАТЬ:

- задачи аэронавигационного обеспечения полетов (АНОП);
- возможности современных автоматизированных систем АНОП;
- требования к организации и содержанию АНОП;
- правила работы с документами аэронавигационной информации;
- принципы построения процедур маневрирования в районе аэродрома;
- перспективы развития технических средств и методов аэронавигационного обеспечения;

УМЕТЬ:

- правильно оценивать надежность аэронавигационного обеспечения полетов по маршруту и в районе аэродрома;
- определять минимумы аэродромов для взлета и посадки.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Точность и надежность навигации

Вероятностный характер процесса навигации. Основы теории погрешностей: числовые характеристики случайной величины, законы распределения, погрешности косвенных измерений.

Показатели точности и надежности навигации, методы их оценивания.

Вероятность нахождения в пределах ширины трассы. Показатель потребной точности навигации.

Точность определения линии положения и места самолета. Эллипс рассеивания. Средняя квадратическая радиальная погрешность. Погрешность по заданному направлению.

Точность контроля пути и определения МС с помощью угломерных и угломерно-дальномерных средств. Точность счисления пути.

Тема 2. Аэронавигационное обеспечение полетов на воздушных трассах

Характеристика воздушных трасс и требования к ним. Ширина воздушной трассы. Защищенное воздушное пространство.

Обоснование норм эшелонирования. Риск столкновения. Целевой уровень безопасности. Модель риска столкновений для параллельных воздушных трасс.

Требуемые навигационные характеристики. Зональная навигация. Концепция PBN. Навигационные спецификации.

Рабочие области радионавигационных систем. Построение рабочих областей РНС. Основные сведения об оптимизации расстановки наземных РНС и коррекции МС. Расчет оптимальных интервалов коррекции численных координат.

Тема 3. Взлетно-посадочные характеристики воздушных судов

Элементы взлетно-посадочных характеристик и их значение: максимально-допустимые взлетная и посадочная массы, скорости на взлете и посадке.

Факторы, влияющие на взлетно-посадочные характеристики.

Этапы взлета и посадки.

Потребные и располагаемые дистанции.

Порядок расчета взлетно-посадочных характеристик по номограммам Руководства по летной эксплуатации.

Автоматизированный расчет взлетно-посадочных характеристик.

Тема 4. Документы аэронавигационной информации

Аэронавигационная информация. Виды документов аэронавигационной информации. Аэронавигационная информация постоянного и временного характера.

Сборники аэронавигационной информации: структура, содержание, условные обозначения.

Перечень маршрутов ОВД.

НОТАМ: структура и содержание. Понятие о СНОУТАМ.

Бюллетень предполетной информации.

Циркуляр аэронавигационной информации.

Сборники и карты корпорации Джемписен.

Тема 5. Организация обеспечения аэронавигационной информацией

Задачи и структура САИ. Центр аэронавигационной информации. САИ региональных управлений воздушного транспорта. Бюро аэронавигационной информации.

Рекомендации ИКАО по обеспечению аэронавигационной информацией.

Автоматизированная система обеспечения аэронавигационной информацией Европейского региона. Система АИРАК.

Порядок внесения изменений в документы аэронавигационной информации.

Обеспечение экипажей документами аэронавигационной информации. Предполетное информационно-консультативное обслуживание.

Тема 6. Построение аэродромных схем и определение минимумов аэродромов

Основные положения DOC 8168 PANS OPS.

Категории ВС. Используемые средства и их точностные характеристики.

Исходные данные для построения аэродромных схем. Принцип учета ветра и температуры при построении схем.

Построение схем вылета по приборам.

Этапы захода на посадку. Построение схем начального этапа захода на посадку. Промежуточный этап захода на посадку. Конечный этап захода на посадку. Визуальный заход на посадку.

Определение минимальных безопасных высот пролета препятствий при заходе на посадку по РМС, РСР, ОСП и ОПРС.

Классификация метеорологических минимумов: минимумы аэродрома, минимумы ВС, минимумы командира ВС, минимумы эксплуатанта.

Определение минимумов аэродрома для взлета. Определение минимумов аэродромов для посадки.

Тема 7. Информационное обеспечение пилотажно-навигационных комплексов

Общие сведения об информационном обеспечении навигационных комплексов отечественных и зарубежных ВС. Задачи, решаемые группой наземного штурманского обеспечения полетов.

Информационное обеспечение базовых навигационных комплексов. Построение структурно-маршрутной схемы. Содержание и подготовка перфокарт.

Информационное обеспечение КСПНО. Структура наземной базы СПД ВСС.

Тема 8. Форматы передачи аэронавигационных данных

Общие сведения о формате ARINC-424.

Запись информации о радиотехнических средствах, маршрутах, зонах ожидания, воздушных трассах, аэродромах, ВПП.

Концепция Path&Terminator. Запись информации о SID, STAR, APPROACH.

Тема 9. Автоматизированные системы аэронавигационного обеспечения полетов

Назначение и задачи, решаемые АС АНОП. Характеристика существующих АС АНОП. Способы ввода погоды и алгоритмы решения основных навигационных задач в современных АС АНОП.

Содержание наземных баз данных. Выходная документация.

2. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

ЗАДАНИЕ №1

1. Представить и описать схему обеспечения Вашего предприятия документами АНИ.

2. Описать порядок внесения поправок в документы АНИ. Привести примеры внесенных поправок, касающиеся базового аэродрома Вашего предприятия.

3. Перечислить задачи аэронавигационного обеспечения Вашего предприятия, решаемые с использованием ЭВМ. Представить образцы выходной документации.

Краткие теоретические сведения к заданию №1

Аэронавигационное обеспечение полетов - комплекс мероприятий, осуществляемых на этапах организации, подготовки и выполнения полетов и направленных на создание условий безопасной, точной и экономичной аэронавигации. Оно реализуется на федеральном, региональном (территориальном) и местном уровнях.

Аэронавигационное обеспечение полетов на местном уровне осуществляется аэропортами, эксплуатантами, органами ОВД и другими юридическими лицами, сертифицированными для данного вида деятельности.

Авиапредприятие (эксплуатант) имеет структурное подразделение или назначает лицо, ответственное за аэронавигационное обеспечение полетов, или пользуется услугами другого юридического лица, осуществляющего данный вид деятельности (далее именуется - служба АНОП эксплуатанта).

Служба АНОП эксплуатанта несет ответственность за:

- соответствие эксплуатационных минимумов на заявленные аэродромы действующим требованиям специально уполномоченного органа в области ГА;

- обеспечение экипажей ВС действующими документами аэронавигационной информации в необходимом объеме при подготовке и выполнении полетов;

- выполнение предварительных навигационных расчетов;

- представление органам ОВД заявок на использование воздушного пространства;

- информационное обеспечение пилотажно-навигационных комплексов, навигационных систем, автоматизированных систем аэронавигационного обеспечения полетов.

Для подготовки и выполнения полетов служба АНОП эксплуатанта обеспечивает летные экипажи:

- сборниками аэронавигационной информации;

- аэронавигационными картами;

- эксплуатационными минимумами аэродромов взлета, посадки и запасных, а при необходимости - минимумами для ETOPS;

- результатами предварительных навигационных расчетов и/или бланками установленной формы;

- сопроводительными документами к бортовым базам данных;

- штурманским снаряжением.

Авиапредприятие может пользоваться услугами службы АНОП другого сертифицированного предприятия либо создавать объединенную службу АНО полетов, которая выполняет функции службы АНО полетов аэропорта, эксплуатанта и органа ОВД.

Современные методы обеспечения аэронавигационной информацией предполагают наличие в авиапредприятиях автоматизированных систем, получающих данные в цифровом виде по каналам связи и формирующих выходные документы в удобном для летных экипажей виде.

Методические указания по выполнению задания №1

При выполнении данного задания Вам необходимо в службе АНОП Вашего предприятия собрать следующую информацию:

- перечень документов АНИ, получаемых предприятием в бумажном и электронном виде;
- наименование организаций - поставщиков документов АНИ;
- с какой периодичностью и в каком виде осуществляется обновление каждого документа АНИ;
- порядок внесения поправок в документы АНИ;
- перечень имеющихся в предприятии автоматизированных систем и решаемые этими системами задачи;
- образцы выходной документации, содержание которой Вы должны знать.

ЗАДАНИЕ №2

Перечислить аэронавигационную информацию, которая содержится на маршрутной карте Вашего района.

Для выполнения этого задания Вам необходимо:

1. Выбрать лист маршрутной карты, которая используется в Вашем предприятии.
2. Перенести в тетрадь условные обозначения, содержащиеся на данном листе карты.
3. Дать пояснение по каждому условному обозначению.

Краткие теоретические сведения к заданию №2

Выполнение полетов при отсутствии на борту воздушного судна полетных карт не допускается. При выполнении полетов по ППП в качестве полетной карты применяются:

- маршрутная карта отечественного или зарубежного издания, разрешенная к использованию Федеральным центром АНО, или

- специально подготовленная аэронавигационная карта масштаба 1:2000 000.

При выполнении полетов по ПВП в качестве полетной карты применяется специальная карта для визуальных полетов, изданная типографским способом или аэронавигационная карта масштаба 1:1 000 000 или крупнее.

Радионавигационная карта издания ЦАИ может выполнять функцию маршрутной карты.

Методические указания по выполнению задания №2

Целью данного задания является проверка знаний условных обозначений на маршрутных картах. Используются только современные карты, изданные типографским способом. Если у Вас нет возможности работать на предприятии с маршрутной картой, изданной типографским способом, то Вам необходимо получить её на кафедре аэронавигации. В любом случае, выбирается лист, на котором находится аэродром Вашего предприятия.

При выполнении задания используйте легенду, в которой частично даются пояснения условным обозначениям.

В графе примечания необходимо указать определение элементу и/или кратко пояснить, что означает конкретная цифра.

Если имеется возможность, то к заданию прикладывается соответствующий лист маршрутной карты.

Задание оформляется в виде табл.1.

Образец выполнения задания № 2

№ п/п	Условное обозначение	Наименование элемента	Примечание
1	N69 28 00 E031 51 48	Геодезические координаты в градусах, минутах и десятых долях минуты	"N" - северная широта. "E" - восточная долгота. Геодезические координаты даны в ПЗ-90 (ПЗ-90.02)
2	 KROTA N69 28 00 E031 51 48	ПОД – пункт обязательного донесения	"KROTA" идентификатор
3	 MURMANSK 635 PF/RD N68 46 54 E032 45 04	Аэродром, ДПРМ двуполосный, координаты КТА	"MURMANSK" – обозначение "635" – частота, кГц "PF/RD" – идентификатор (позывной)
4		Изогона – линия равных магнитных склонений: "+14"	"+14°" – магнитное склонение

ЗАДАНИЕ №3

Рассчитать минимально допустимый градиент набора высоты на начальном участке схемы вылета для одного направления ВПП Вашего аэродрома.

Краткие теоретические сведения к заданию №3

При разработке схем вылета по приборам учитываются характер окружающей аэродром местности (расположение и высота препятствий), а также требования УВД. Схема вылета устанавливается для каждой ВПП, с которой может выполняться взлет.

Схема вылета начинается в точке DER (departure end of the runway), которая устанавливается в конце располагаемой дистанции взлета на высоте 5м над максимальным превышением рельефа в свободной зоне, включая порог ВПП со стороны взлета (рис.1).

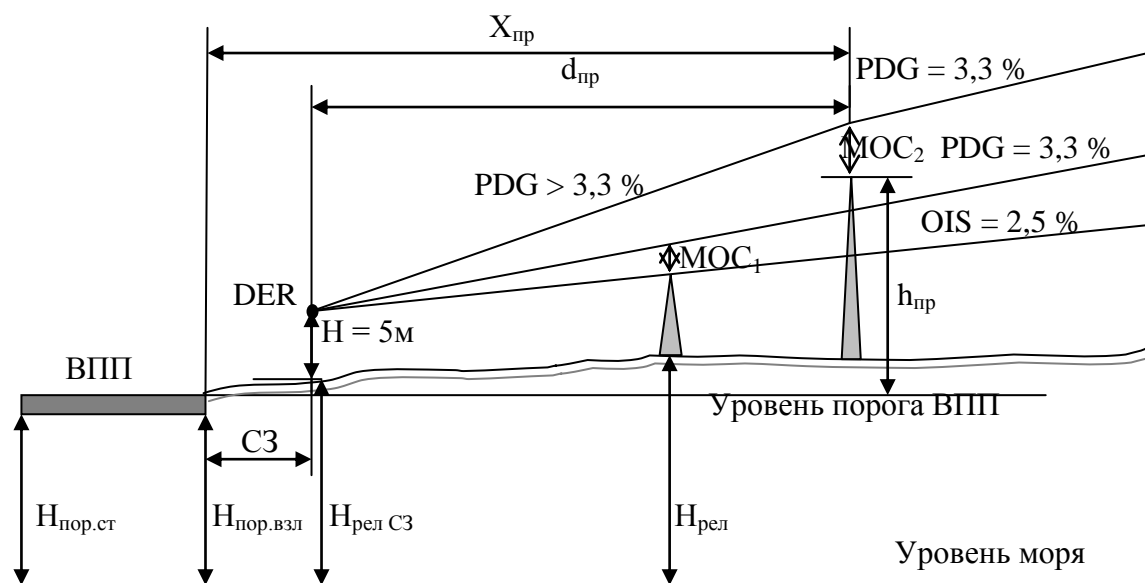


Рис.1. Определение начала схемы вылета и градиента набора высоты

Все высоты (препятствий, разворотов и т.п.) при построении схем вылета отсчитываются от уровня ВПП со стороны старта.

Основным критерием, учитываемым при построении схем, является запас высоты над препятствием МОС (minimum obstacle clearance), равный нулю над DER и увеличивающийся на 0,8% от горизонтального расстояния в направлении полета по мере удаления от DER.

Для обеспечения требуемого запаса высоты над препятствиями рассчитываются градиенты набора высоты PDG (procedure design gradient).

Градиент набора высоты (PDG) - это тангенс угла наклона траектории, выраженный в процентах.

При построении схем учитываются только те препятствия, которые пересекают поверхность обозначения препятствий OIS (obstacle identification surface), имеющую наклон вверх с градиентом 2,5% в направлении полета (рис. 2).

Если препятствия не пересекают OIS, то расчетный PDG устанавливается равным 3,3% (2,5% градиент OIS + 0,8% МОС).

Если какое-либо препятствие пересекает поверхность, то рассчитывается PDG, который обеспечит требуемый запас высоты над этим

препятствием. PDG публикуется на схеме вылета, если его значение больше 3,3 %.

Первая зона учета препятствий имеет ширину 300м у DER, затем расширяется на 15° в каждую сторону и заканчивается в точке разворота (ТР) (рис. 3).

Методические указания по выполнению задания №3

Для выполнения данного задания Вам необходимо выполнить следующие действия.

1. Собрать информацию о препятствиях на аэродроме. Для выполнения задания необходимы препятствия, попадающие в зону, показанную на рис. 3.

Примечание. Сведения о препятствиях имеются в аэронавигационном паспорте аэродрома или инструкции по производству полетов на аэродроме.

2. Записать препятствия в таблицу (табл. 2). В таблице указываются прямоугольные координаты препятствий (рис. 2) относительно порога взлета ($X_{пр}$, $Y_{пр}$) и абсолютные высоты препятствий ($H_{пр}$). Препятствия записываются по мере убывания координаты X .

3. На листе миллиметровой бумаги формата А4 построить зону учета препятствий (рис. 3). При построении принять $D_p = 10000\text{м} - \text{СЗ}$. Возле препятствий указываются порядковые номера из табл. 2.

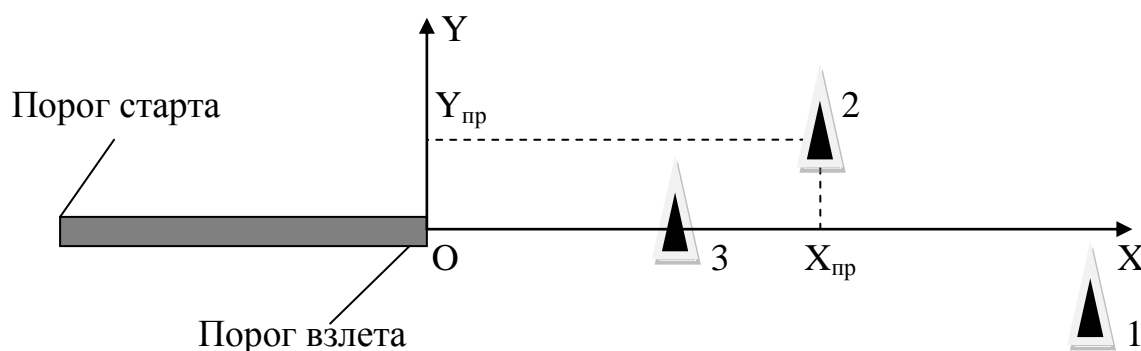


Рис.2. Система координат

Образец таблицы препятствий

Нпп	Название препятствия	Хпр, м	Упр, м	Нпр, м
1	Возвышенность	+ 9600	- 2570	370
2	Труба	+5320	+ 400	60
3	Антенна ДПРМ	+ 4000	0	25

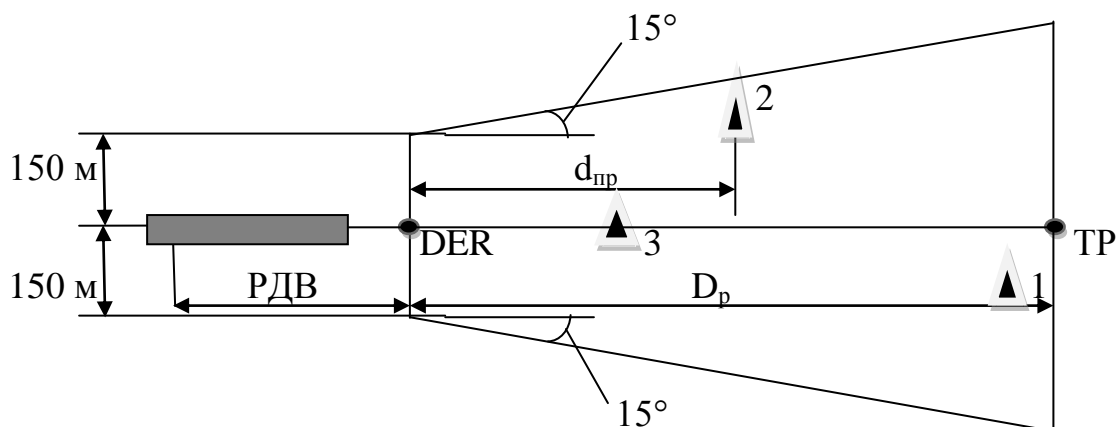


Рис. 3. Зона учета препятствий

4. Рассчитать $H_{DER} = H_{\text{рел. сз}} + 5 - H_{\text{пор. ст}}$ (см. рис.1).

5. Для каждого препятствия рассчитать его относительную высоту:

$$h_{\text{пр}} = H_{\text{пр}} - H_{\text{пор. ст}}$$

6. Для каждого препятствия рассчитать МОС:

$$\text{МОС} = 0,008 \cdot d_{\text{пр}}$$

7. Для каждого препятствия рассчитать PDG, требуемый для его безопасного пролета:

$$\underline{\hspace{2cm}}$$

8. Определить минимально допустимый градиент набора высоты на начальном участке схемы вылета как максимальное значение из PDG по препятствиям.

ЗАДАНИЕ №4

Решить задачи. В условиях задач вместо **X, Y** следует подставлять соответственно предпоследнюю и последнюю цифры зачетной книжки. При этом вместо нуля использовать число 10.

Задача 1

При полете от ОПРС с ЗМПУ = 50° измерен МК = $(45 + x)^\circ$ и КУР = $(185 - y)^\circ$. Пройденное расстояние $S_{пр} = 100 + 5(x+y)$ км. Определить вероятность нахождения ВС в пределах трассы шириной 10 км, если $\sigma_{кур} = 1, x^\circ$; $\sigma_{МК} = 1, y^\circ$.

Задача 2

Путевая скорость определена на контрольном этапе: за $(x+5)$ мин пройдено 100 км. Определить σ_w , если $\sigma_s = X$ км, а $\sigma_t = 0, Y$ сек.

Задача 3

Экипаж определил место по угломерно-дальномерному средству $A = 250^\circ$, $D = [100 + (5+x)y]$ км и нанес его на карту. Определить вероятность того, что ВС находится от измеренного места на удалении не более 5 км, если $\sigma_A = 1, X^\circ$; $\sigma_D = 0, Y$ км.

Краткие теоретические сведения к заданию № 4

Погрешности измерения

Процесс аэронавигации носит вероятностный характер, т.к. подвержен влиянию большого количества погрешностей измерения. Измерения могут быть прямыми и косвенными.

Погрешность - это разность измеренного и истинного значений:

$$\Delta = X - X_{изм},$$

где $X_{изм}$ - измеренное значение;

X - истинное значение;

Δ - абсолютная погрешность.

Погрешность измерений является характеристикой точности. Точность - это степень соответствия измеренного значения истинному. Чем меньше погрешность, тем выше точность.

По характеру проявления погрешности бывают систематические и случайные.

Систематическими называются погрешности, возникающие всякий раз при данных условиях измерения. Они подразделяются на постоянные и переменные.

Постоянные систематические погрешности сохраняют свою величину и знак в широком диапазоне условий измерения.

Величина переменной систематической погрешности зависит от влияния заранее известных факторов в конкретных условиях измерения (время суток, значения измеряемой величины и т.п.). Чаще всего известна функциональная зависимость этой погрешности от различных факторов.

С систематическими погрешностями можно и нужно бороться. Это значит, что для конкретного оборудования их надо выявлять и устранять (компенсировать).

Случайными называются погрешности, принимающие различные значения при многократных измерениях в одних и тех же условиях.

Частным случаем случайных погрешностей является грубая погрешность (синоним - промах). Промах - это вид случайной погрешности, когда она превышает заданные (заявленные) разработчиком значения погрешности.

Случайные погрешности, как правило, зависят от большого количества факторов и устранить их невозможно, их следует оценить и учесть. Для этой цели применяется аппарат теории вероятностей и, в частности, теория погрешностей.

Характеристики случайной погрешности

Случайная погрешность X - это величина, которая при многократных опытах в одних и тех же условиях принимает различные значения.

Основными характеристиками случайной погрешности навигации являются математическое ожидание m_x и средняя квадратическая погрешность (СКП) σ_x .

Математическое ожидание представляет собой среднее значение погрешности по соответствующей координате (m_z, m_s, m_n, m_t) по множеству траекторий полета или на некотором участке одной траектории. В процессе полета экипаж стремится свести к нулю систематические погрешности навигационных измерений и строго выдерживать навигационную программу полета, поэтому в ряде случаев математические ожидания погрешностей навигации принимают равными нулю.

Средняя квадратическая погрешность навигации по соответствующей координате ($\sigma_z, \sigma_s, \sigma_n, \sigma_t$) характеризует степень рассеяния случайных погрешностей навигации относительно их математического ожидания, а при нулевом математическом ожидании разброс фактической координаты ВС относительно заданной. Чем меньше σ , тем менее разбросаны реализации случайной погрешности относительно их среднего значения, тем выше точность навигации.

Вероятность - это числовая характеристика возможности наступления какого-либо события в тех или иных условиях, которые могут повторяться неограниченное количество раз. Вероятность обозначается буквой P и может принимать значения от нуля до единицы.

Законы распределения случайной погрешности

Функция (математическое выражение), связывающая значение случайной погрешности с вероятностью его появления называется законом распределения.

Закон распределения может быть представлен в виде функции распределения $F(x)$ или чаще в виде ее производной – плотности распределения $f(x)$ (рис.4).

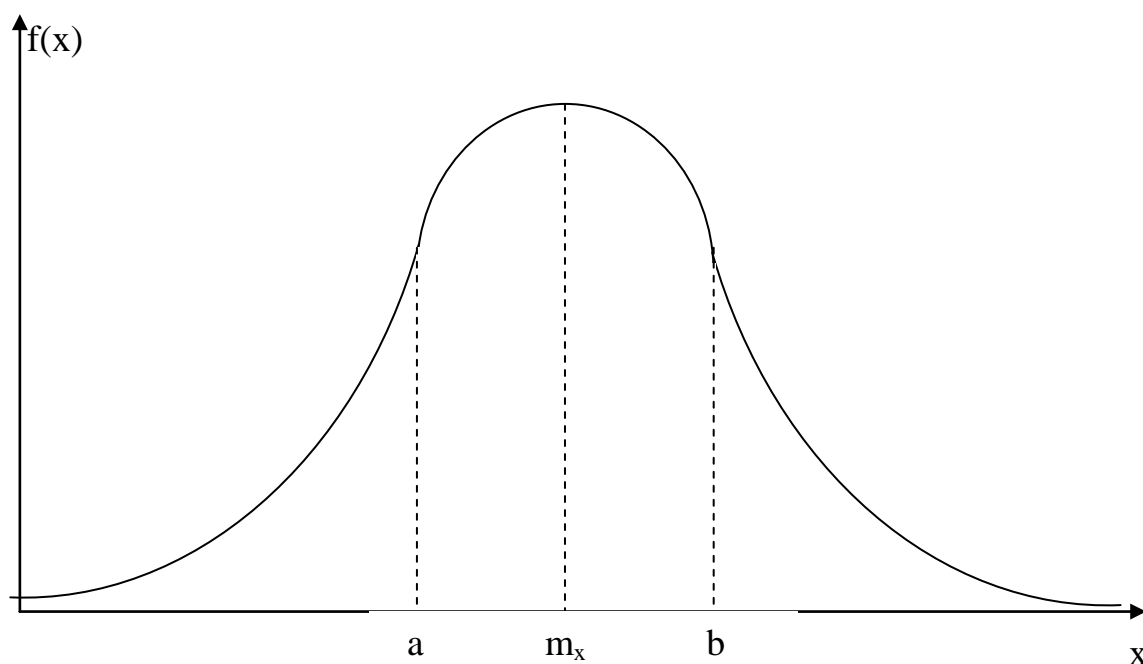


Рис.4. Функция плотности распределения

Площадь под кривой $f(x)$ равна 1, т.е. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$.

Вероятность попадания случайной величины в заданные пределы равна площади под кривой между этими пределами (см. рис. 4).

где x^* - реализация (числовое значение в конкретном случае) случайной величины.

Одним из наиболее распространенных законов распределения является **нормальный закон Гаусса**, имеющий место, когда погрешность является суммой составляющих, влияние которых незначительно и сопоставимо по величине. При этом неважно, какому закону распределения подчинены отдельные составляющие погрешности. Для анализа авиационных погрешностей этот закон подходит в подавляющем числе случаев.

Для того чтобы определить вероятность попадания случайной погрешности, подчиняющейся нормальному закону распределения, в заданные пределы удобно использовать табулированную функцию Лапласа $\Phi(x)$, представленную в табл. 3.

Функция Лапласа монотонно возрастающая, нечетная, т.е

$$\Phi(-x) = -\Phi(x); \Phi(0) = 0; \Phi(+\infty) = 1.$$

С помощью данной функции вероятность попадания случайной погрешности в пределы от a до b определяется следующим образом:

$$P(a < x < b) = \Phi\left(\frac{b - m_x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{a - m_x}{\sigma_x}\right). \quad (1)$$

Если пределы интегрирования симметричны, то есть ($|a| = |b| = c$), то формула принимает следующий вид:

$$P(-c < x < c) = 2\Phi\left(\frac{c}{\sigma_x}\right) - 1.$$

Если $m_x = 0$, то формула еще больше упрощается:

$$P(-c < x < c) = 2\Phi\left(\frac{c}{\sigma_x}\right) - 1. \quad (2)$$

Точность определения местоположения воздушного судна (места ВС) характеризуется радиусом от измеренного местоположения, в пределах которого с определенной вероятностью находится истинное место ВС.

Для практических расчетов используется радиальная среднеквадратическая погрешность σ_r , которая подчиняется **закону кругового распределения Релея**. В соответствии с этим законом вероятность попадания МС в круг заданного радиуса ($R_{зад}$) определяется по формуле:

$$P(R < R_{зад}) = 1 - e^{-\frac{R_{зад}^2}{2\sigma_r^2}}. \quad (3)$$

Как известно, место самолета может быть определено пересечением двух линий положения. Наиболее распространенными видами линий положения являются линия равных пеленгов самолета (ЛРПС) и линия равных расстояний (ЛРР).

Функция Лапласа

X	Φ(x)	X	Φ(x)	X	Φ(x)	X	Φ(x)	X	Φ(x)	X	Φ(x)
0,00	0,0000	0,40	0,3108	0,80	0,5763	1,20	0,7699	1,60	0,8904	2,00	0,9545
0,01	0,0060	0,41	0,3182	0,81	0,5821	1,21	0,7737	1,61	0,8926	2,05	0,9596
0,02	0,0160	0,42	0,3255	0,82	0,5878	1,22	0,7775	1,62	0,8948	2,10	0,9643
0,03	0,0239	0,43	0,3328	0,83	0,5935	1,23	0,7813	1,63	0,8969	2,15	0,9684
0,04	0,0319	0,44	0,3401	0,84	0,5991	1,24	0,7850	1,64	0,8990	2,20	0,9722
0,05	0,0399	0,45	0,3473	0,85	0,6047	1,25	0,7887	1,65	0,9011	2,25	0,9756
0,06	0,0478	0,46	0,3545	0,86	0,6102	1,26	0,7923	1,66	0,9031	2,30	0,9786
0,07	0,0558	0,47	0,361	0,87	0,6157	1,27	0,7959	1,67	0,9051	2,35	0,9812
0,08	0,0638	0,48	0,3668	0,88	0,6211	1,28	0,7995	1,68	0,9070	2,40	0,9836
0,09	0,0717	0,49	0,3759	0,89	0,6265	1,29	0,8029	1,69	0,9090	2,45	0,9857
0,10	0,0797	0,50	0,3829	0,90	0,6319	1,30	0,8064	1,70	0,9109	2,50	0,9876
0,11	0,0876	0,51	0,3899	0,91	0,6372	1,31	0,8098	1,71	0,9127	2,55	0,9892
0,12	0,0955	0,52	0,3969	0,92	0,6424	1,32	0,8132	1,72	0,9146	2,60	0,9907
0,13	0,1034	0,53	0,4039	0,93	0,6476	1,33	0,8165	1,73	0,9164	2,65	0,9920
0,14	0,1113	0,54	0,4108	0,94	0,6528	1,34	0,8198	1,74	0,9181	2,70	0,9931
0,15	0,1192	0,55	0,4177	0,95	0,6579	1,35	0,8230	1,75	0,9199	2,75	0,9940
0,16	0,1271	0,56	0,4245	0,96	0,6629	1,36	0,8262	1,76	0,9216	2,80	0,9949
0,17	0,1350	0,57	0,4313	0,97	0,6680	1,37	0,8293	1,77	0,9233	2,85	0,9956
0,18	0,1428	0,58	0,4381	0,98	0,6729	1,38	0,8324	1,78	0,9249	2,90	0,9963
0,19	0,1507	0,59	0,4448	0,99	0,6778	1,39	0,8355	1,79	0,9265	2,95	0,9968
0,20	0,1585	0,60	0,4515	1,00	0,6827	1,40	0,8385	1,80	0,9281	3,00	0,99730
0,21	0,1663	0,61	0,4581	1,01	0,6875	1,41	0,8415	1,81	0,9297	3,10	0,99806
0,22	0,1741	0,62	0,4647	1,02	0,6923	1,42	0,8444	1,82	0,9312	3,20	0,99863
0,23	0,1819	0,63	0,4713	1,03	0,6970	1,43	0,8473	1,83	0,9328	3,30	0,99903
0,24	0,1897	0,64	0,4778	1,04	0,7017	1,44	0,8501	1,84	0,9342	3,40	0,99935
0,25	0,1974	0,65	0,4843	1,05	0,7063	1,45	0,8529	1,85	0,9357	3,50	0,99953
0,26	0,2051	0,66	0,4937	1,06	0,7109	1,46	0,8557	1,86	0,9371	3,60	0,99963
0,27	0,2128	0,67	0,4971	1,07	0,7154	1,47	0,8584	1,87	0,9385	3,70	0,99978
0,28	0,2205	0,68	0,5035	1,08	0,7199	1,48	0,8611	1,88	0,9399	3,80	0,99989
0,29	0,2282	0,69	0,5098	1,09	0,7243	1,49	0,8638	1,89	0,9412	3,90	0,99990
0,30	0,2358	0,70	0,5161	1,10	0,7287	1,50	0,8664	1,90	0,9426	4,00	0,99994
0,31	0,2434	0,71	0,5223	1,11	0,7330	1,51	0,8690	1,91	0,9439	4,417	$1 - 10^{-5}$
0,32	0,2510	0,72	0,5285	1,12	0,7373	1,52	0,8715	1,92	0,9451		
0,33	0,2586	0,73	0,5346	1,13	0,7415	1,53	0,8740	1,93	0,9464	4,892	$1 - 10^{-6}$
0,34	0,2661	0,74	0,5407	1,14	0,7457	1,54	0,8764	1,94	0,9476		
0,35	0,2737	0,75	0,5467	1,15	0,7499	1,55	0,8789	1,95	0,9488	5,327	$1 - 10^{-7}$
0,36	0,2812	0,76	0,552	1,16	0,7540	1,56	0,8812	1,96	0,9500		
0,37	0,2886	0,77	0,5587	1,17	0,7580	1,57	0,8836	1,97	0,9512		
0,38	0,2961	0,78	0,5646	1,18	0,7620	1,58	0,8859	1,98	0,9523		
0,39	0,3035	0,79	0,5705	1,19	0,7660	1,59	0,8882	1,99	0,9534		

Погрешность измерения навигационного параметра (пеленга или дальности) приводит к погрешности линии положения. Средняя квадратическая погрешность линий положения определяется:

- для ЛРПС : $\sigma_p = 0,0175 D \sigma_{\Pi}$;

- для ЛРР : $\sigma_p = \sigma_D$,

где σ_p - СКП линии положения;

σ_{Π} - СКП измерения пеленга (азимута, радиала);

σ_D - СКП измерения дальности;

D - дальность от угломерного средства до ВС.

Зная СКП линий положения можно определить радиальную СКП по формуле:

$$\frac{\sigma_p}{\cos \omega} = \sigma_r, \quad (4)$$

где ω - угол пересечения линий положения.

Погрешности косвенных измерений

Если величина y получена в результате измерения случайных величин x_1, x_2, \dots, x_n как функция $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, то говорят, что эта величина получена косвенным путем.

В этом случае среднеквадратическая погрешность может быть рассчитана по формуле:

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 + \dots + \sigma_{x_n}^2}, \quad (5)$$

где $\frac{\partial y}{\partial x_i}$ - частная производная.

Например:

если $y = (x_1 \pm x_2)$, то $\sigma_y = \sigma_{x_1} \pm \sigma_{x_2}$;

если $y = x_1 x_2$, то $\sigma_y = x_1 \sigma_{x_2} + x_2 \sigma_{x_1}$;

если $y = 1/x$, то $\sigma_y = \frac{\sigma_x}{x^2}$.

Методические указания по выполнению задания №4

В первой задаче необходимо:

- определить ЛБУ, и это значение принять в качестве математического ожидания;
- по формуле (5) рассчитать СКП определения пеленга (поскольку пеленг получен косвенным путем на основе прямых измерений МК и КУР);
- рассчитать СКП ЛРПС;
- по формуле (1) рассчитать требуемую вероятность. Поскольку ширина трассы равна 10 км, то пределы будут равны: $a = -5$ км, $b = +5$ км.

Во второй задаче путевая скорость получена косвенным путем на основе прямых измерений расстояния и времени. Поэтому для определения СКП косвенного измерения следует воспользоваться формулой (5). При решении задачи рекомендуется использовать таблицу производных.

Для решения **третьей задачи** необходимо:

- определить СКП ЛРПС и ЛРР;
- по формуле (4) рассчитать радиальную СКП;
- по формуле (3) рассчитать требуемую вероятность.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Вовк В.И., Липин А.В., Сарайский Ю.Н. Зональная навигация. Учебное пособие/ Академия ГА, СПб, 2004.
2. Воздушная навигация и аэронавигационное обеспечение полетов/Под ред.Н. Ф. Миронова. М.: Транспорт, 1992.
3. Единая методика определения минимумов аэродромов для взлета и посадки воздушных судов. М.: Воениздат, 1994.
4. ИКАО. Doc 8168. Производство полетов воздушных судов (Aircraft Operations)- PANS-OPS. Изд.5, 2007.
5. ФАП 138.

Дополнительная

6. ИКАО. Приложение 4. Аэронавигационные карты (Aeronautical Charts). Изд.9, 1995.
7. ИКАО. Приложение 15. Службы аэронавигационной информации (Aeronautical Information Services). Изд.11, 2003.
8. ИКАО. Doc 8126. Руководство по САИ (AIS Manual). Изд.5, 1995.
9. ИКАО. Doc 8697. Руководство по авиационным картам. Изд.2, 1987.
10. ИКАО. Doc 9613. Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN). Изд. 3, 2008.
11. ИКАО. Doc 9613. Руководство по требуемым навигационным характеристикам. Изд.2, 1998.
12. ИКАО. Doc 9674. Руководство по всемирной геодезической системе – 1984 (WGS-84). Изд.1, 1997.