

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНТРАНС РОССИИ)**

**АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФГОУ ВПО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ"**

АЭРОНАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТОВ

Методические указания

по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы

Для студентов заочного факультета специализации

летная эксплуатация гражданских воздушных судов

Санкт-Петербург

2008

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, 2008.

Издаются в соответствии с программой дисциплины "Аэронавигационное обеспечение полетов" (90 ч).

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

Предназначены для студентов заочного факультета специализации летная эксплуатация гражданских воздушных судов.

Ил. 5, табл. 4, библиограф. 16 назв.

Составитель

Ю.Н. Щепилов, канд.техн.наук доц.

Рецензент

В.Ф. Кравцов, канд.техн.наук доц.

© Университет гражданской авиации,

2008

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;
- рассчитывать взлетно-посадочные характеристики воздушных судов;
- определять минимумы аэродромов для взлета и посадки.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение

Предмет аэронавигационного обеспечения полетов. Задачи аэронавигационного обеспечения полетов. Краткая историческая справка.

Тема 2. 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 рассеяния. 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 3. 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.

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 4. 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 5. Документы аэронавигационной информации

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

Сборники аэронавигационной информации: структура, содержание, условные обозначения.

Перечень воздушных трасс. НОТАМ: структура и содержание. Понятие о СНОУТАМ и циркулярах аэронавигационной информации. Бюллетень предполетной информации. Циркуляр аэронавигационной информации. Сборники и карты корпорации Джемписен.

Тема 6. 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 7. Построение аэродромных схем и определение минимумов аэродромов

Основные положения DOC 8168 PANS OPS и Руководства по построению аэродромных схем и определению безопасных высот пролета препятствий.

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 8. 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 и НК "ЖАСМИН". Структура наземной базы СПД ВСС. Принципы формирования таблиц установочных данных.

Тема 9. Форматы передачи аэронавигационных данных

Общие сведения о формате ARINC-424. Запись информации о радиотехнических средствах, маршрутах, зонах ожидания, ВТ, аэродромах. ВПП. Концепция Path&Terminator. Запись информации о SID, STAR, APPROACH.

Тема 10. 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.

Тема 11. Заключение

Проблемы и перспективы развития аэронавигационного обеспечения полетов.

2. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

ЗАДАНИЕ №1

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

1.2. Описать порядок внесения поправок в документы АНИ.

1.3. 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 и использование экипажей 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 1:2 000 000.

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 ГА 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.

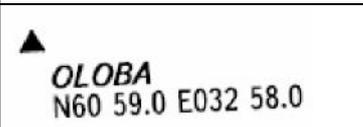
В графе примечания необходимо указать определение элементу и/или кратко пояснить, что означает конкретная цифра.

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

Задание оформляется в виде табл.1.

Таблица 1

Образец выполнения задания № 2

№п/п	Условное обозначение	Наименование элемента	Примечание
1	N60 59.0 E032 58.0	Геодезические координаты в градусах, минутах и десятых долях минуты	"N" - северная широта. "E" - восточная долгота. Геодезические координаты даны в СК-95
2		ПОД – пункт обязательного донесения	"OLOBA" идентификатор
3		ОПРС – отдельная приводная радиостанция	"KIRISHI" - обозначение "885" – частота кГц "KR" – идентификатор (позывной)
4		Изогона – линия равных магнитных склонений	"+16" – магнитное склонение – угол, заключенный между северными направлениями истинного и магнитного меридианов

ЗАДАНИЕ №3

Построить график зависимости максимально допустимой взлетной массы от температуры воздуха у земли.

Краткие теоретические сведения к заданию №3

Взлетно-посадочные характеристики (ВПХ) имеют очень важное значение для безопасности полетов, поскольку взлет и посадка являются самыми аварийными этапами полета.

К ВПХ относятся максимально допустимые взлетная и посадочная массы, а также характерные скорости на взлете и посадке.

Максимально допустимая взлетная масса (МДВМ) рассчитывается во время предполетной подготовки, так как она может ограничить коммерческую загрузку и заправку топливом. Взлетные скорости рассчитываются по фактической взлетной массе и должны обеспечить безопасность взлета.

Значения ВПХ зависят от большого количества факторов, основные из которых рассмотрены далее.

Тяга двигателей является одним из наиболее существенных факторов, влияющих на ВПХ, в частности на длину разбега. При уменьшении тяги длина разбега увеличивается, причем в большей степени, чем уменьшение тяги, то есть, если тяга уменьшится на 10%, то длина разбега может увеличиться на 11... 14% (в зависимости от типа ВС).

Для многодвигательных ВС взлетные характеристики рассчитываются для случая отказа одного критического двигателя .

Взлетная масса ВС. Все ВПХ в значительной степени зависят от массы ВС. При взлете длина разбега примерно пропорциональна квадрату взлетной массы, а у тяжелых ВС - еще большей ее степени, т.е. $l_{\text{разб}} \sim m_{\text{взл}}^{2..2,8}$

Это означает, например, что при увеличении массы на 20% длина разбега увеличится не менее чем на 44%.

Температура и давление воздуха на аэродроме рассматриваются совместно, так как они определяют плотность воздуха - один из основных параметров, влияющих на величины аэродинамических сил.

При учете атмосферного давления в номограммах РЛЭ, как правило, используется не величина давления, а соответствующая этому давлению в стандартной атмосфере высота.

Проявляющееся через изменение температуры и давления влияние на ВПХ плотности воздуха сказывается, во-первых, через изменение тяги двигателей, а во-вторых, через изменение скорости отрыва. Так, при повышении температуры и уменьшении давления падает тяга двигателей и увеличивается истинная скорость отрыва (при том же значении приборной скорости), и, следовательно, для достижения этой увеличенной скорости, да еще при уменьшенной тяге, потребуется большая длина разбега, а градиент набора высоты после отрыва уменьшится. Если же длина ВПП ограничена, уменьшится МДВМ. Например, для самолета Ту-154М при длине ВПП 1850 м одновременное повышение температуры на 10°C и уменьшение давления на 20 мм рт.ст. приведет к снижению МДВМ примерно на 4 тонны по сравнению со стандартными условиями, а на 20°C и 40 мм рт.ст. - почти на 12 тонн.

Ветер. Отдельно рассматривается влияние продольной и боковой составляющих ветра по отношению к оси ВПП.

Влияние величины боковой составляющей ветра на значения ВПХ (МДВМ, длину разбега и т.д.) в РЛЭ не учитывается. Устанавливается предельное значение боковой составляющей ветра, при превышении которого взлет запрещается. Это значение для некоторых типов самолетов не является постоянным, а зависит от коэффициента сцепления на ВПП и состояния ее поверхности (наличия слоя осадков). Чем более ВПП скользкая, тем меньше предельное значение боковой составляющей ветра.

Встречный ветер может существенно улучшить ВПХ. Отрыв происходит на определенной скорости относительно воздушной массы, а при встречном ветре она достигается быстрее, поскольку на исполнительном старте у ВС уже имеется воздушная скорость.

Попутный ветер, наоборот, очень резко ухудшает условия взлета и посадки.

Уклон ВПП. Продольный профиль ВПП практически никогда не бывает

прямолинейным и горизонтальным, а часто имеет довольно сложную форму.

Для расчета ВПХ используют средний опубликованный уклон ВПП, измеряющийся в процентах и представляющий собой тангенс наклона ВПП. Например, уклон +1% означает, что уровень ВПП повышается на 1м на каждые 100м ее длины.

Влияние величины уклона на взлетные характеристики не является однозначным. Если при разбеге уклон вверх увеличивает его длину (при движении "в гору" труднее разогнаться до скорости отрыва), то во время торможения при прерванном взлете этот же уклон сокращает дистанцию прерванного взлета.

Состояние ВПП, не покрытой слоем атмосферных осадков, характеризуется коэффициентом сцепления ($0 < K_{сц} < 1$).

Чем коэффициент больше, тем лучше сцепление колес шасси с поверхностью ВПП и тем меньше длина пробега при посадке.

При взлете с малым значением $K_{сц}$ уменьшаются сила трения и длина разбега, но при прерванном взлете путь при торможении существенно увеличится, поэтому в целом уменьшение $K_{сц}$ ухудшает условия взлета.

Если ВПП покрыта слоем осадков, то коэффициент сцепления, как правило, не используется. Учет состояния ВПП производится уменьшением располагаемых дистанций в зависимости от вида и толщины осадков.

Если $RДВ=3000$, но ВПП покрыта слоем воды, то скорректированная $RДВ$ для Ту-154Б составит 2500 м. Дальнейший расчет по номограммам будет исходить уже из этого значения, и поэтому ВПХ будут хуже.

Конфигурация ВС. На большинстве типов ВС взлет и посадка могут производиться при разных положениях механизации по решению командира ВС в зависимости от условий взлета.

Например, на Ту-154М взлет может выполняться с закрылками, выпущенными на 28 или 15°, а посадка - 45 или 36°. Естественно, что ВПХ в этих случаях будут различными. Для учета угла отклонений закрылков используются либо различные (для каждого значения) номограммы для расчета одной и той же величины, либо одно из полей общей номограммы.

Во время предполетной подготовки с учетом перечисленных факторов по РЛЭ рассчитывается МДВМ. В большинстве РЛЭ для разных типов ВС принят следующий принцип определения МДВМ: определяются несколько частных МДВМ и из них выбирается минимальная. Каждая из частных МДВМ ограничивает взлетную массу по какому-либо одному критерию, не учитывая остальных.

Очевидно, что безопасность взлета будет обеспечена, если фактическая взлетная масса не будет превышать каждую из частных МДВМ.

В РЛЭ разных типов ВС указаны несколько различающиеся наборы ограничений (критериев), по которым требуется рассчитывать частные МДВМ, и разное их количество. Основные критерии частных МДВМ приведены далее.

Ограничение по прочности ВС. Частная МДВМ, ограниченная прочностью ВС, не требует расчета, так как является постоянной величиной и приводится в РЛЭ.

Ограничение по располагаемым дистанциям на аэродроме. Взлетная масса должна быть такой, чтобы отрыв произошел в пределах РДР, дистанция продолженного взлета не превысила РДВ, а прерванного -РДПВ.

Ограничение по градиенту набора высоты обусловлено необходимостью обеспечить указанный на схеме вылета градиент набора высоты даже при отказе одного двигателя на взлете.

Ограничение по путевой скорости отрыва. Смысл ограничения заключается в том, что при большой взлетной массе велика скорость отрыва и колеса шасси испытывают значительные нагрузки, которые могут привести к их разрушению.

Ограничение по максимальной скорости торможения. При прерванном взлете торможение на большой скорости также может привести к разрушению колес. Если взлетную массу уменьшить, уменьшатся и нагрузки.

Ограничение по уровню шума в районе аэродрома. Шум двигателей ВС на взлете, конечно, не влияет на безопасность полетов, но доставляет большие неудобства жителям близлежащих населенных пунктов. Наряду с другими

одним из путей уменьшения уровня шума является снижение взлетной массы, позволяющее вскоре после взлета уменьшить режим работы двигателей.

Требуемая для заданного уровня шума взлетная масса определяется по номограммам в зависимости от многих факторов, в частности, от расположения пункта контроля шума на аэродроме.

Методические указания по выполнению задания №3

Для выполнения этого задания необходимо:

1. Выбрать исходные данные для расчета из табл.2. Выбор осуществляется по последним двум цифрам зачетной книжки (XY). Данные помещены в ячейке в виде столбца цифр в следующем порядке:

- длина ВПП, м;
- длина КПП, м;
- длина СЗ, м;
- уклон ВПП, % ;
- коэффициент сцепления;
- давление на аэродроме, мм рт.ст.;
- продольная составляющая ветра, м/с ("+" - встречная, "-" -попутная);

2. Выбрать любой из предлагаемых типов ВС: Ил-96-300, Ил-86, Ил-76, Ту-214, Ту-204, Ту-154Б, Ту154М, Ту-134, Як-42, Як -40, Ан-24, Ан-12. Выбор осуществляется, исходя из наличия в Вашем авиапредприятии РЛЭ данного типа ВС.

Примечание

Если РЛЭ перечисленных типов ВС в Вашем предприятии отсутствуют, то Вам следует получить материалы, необходимые для выполнения данного задания, на кафедре аэронавигации.

3. Задаваясь значением температуры воздуха у земли (t_0) от $+15$ до $+35^{\circ}\text{C}$ с шагом 5°C рассчитать МДВМ в соответствии с РЛЭ. Данные свести в таблицу.

На основе полученных результатов построить график $\text{МДВМ} = f(t_0)$.

Исходные данные для задания №3

(Для всех вариантов: осадков на ВПП нет, боковая составляющая ветра равна нулю)

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2100	2300	1900	2400	2000	2500	1950	2700	2800	2200
	50	100	100	0	200	0	150	50	150	50
	400	200	300	100	200	40	200	100	200	300
	+1	+1,5	-1	-1,5	+2	-1,5	-1,5	-2	-1	+2
	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,4
	733	740	738	742	745	748	735	736	739	749
	7	3	12	9	2	-3	14	0	-4	6
1	2200	2400	1900	2650	2140	2250	2570	3100	2940	1970
	100	70	150	100	70	150	50	0	50	100
	200	400	400	200	200	250	150	70	200	400
	+1	-1	-2	+1	-1	0	+1,5	+2	-2	-2
	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5
	740	758	760	752	747	739	733	733	735	755
	8	10	9	14	16	6	7	15	18	3
2	2120	2240	2650	2710	2280	2050	2410	2430	2900	2930
	140	120	100	100	110	130	50	190	80	100
	320	230	200	150	240	210	180	260	120	160
	+1	+1	21	+2	+1	+1,5	-1	+1	-1,5	-2
	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4
	744	743	740	735	750	756	747	754	732	736
	0	4	17	10	9	14	12	8	7	5
3	2260	2100	2200	2370	2720	1860	3000	3120	3050	2280
	50	70	50	100	60	50	100	70	50	70
	400	400	400	400	400	400	100	400	400	400
	+1	+1	-1	+1,5	-1	+1	-1	+1,5	-2	+1
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
	748	751	744	753	733	757	730	735	738	743
	3	12	11	14	9	4	3	7	16	0
4	2000	2400	2200	2900	2460	2380	2690	2700	2190	2570
	50	50	40	0	40	100	100	80	100	80
	200	100	130	200	140	400	400	400	400	400
	+1	-1	+1,5	-2	+1	+1,5	-1	+1	+1	-1
	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4
	753	750	744	736	746	750	741	737	756	745
	5	10	6	7	16	7	15	14	0	0
5	2430	2710	2060	3100	2040	2220	2380	2300	2400	2500
	100	0	100	0	100	70	80	80	70	0
	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	+1	-1	+1	-1,5	-1	+1	0	+1	+1	-2
	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5
	743	733	752	731	749	743	746	738	749	738
	5	8	7	-4	11	14	3	0	9	7

Окончание табл.2

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Y										
6	1980	1850	2700	2230	2320	2740	2410	2130	2200	2040
	100	50	80	50	40	80	200	50	40	80
	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	-1	-1	+1	+1	+1,5	+1	-1,5	+1,5	+1	+1
	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6
	755	760	734	742	749	753	742	754	741	748
	15	13	6	7	5	2	0	15	8	10
7	2060	2450	2300	2600	2120	2180	2270	2390	2000	1900
	100	50	80	50	100	70	50	40	100	70
	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	+1	+1	+1	0	+1	0	+1	-1,5	-1,5	+1
	0,6	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6
	757	750	749	737	734	740	738	743	753	755
	11	13	16	15	3	7	7	10	10	11
8	2200	2530	2010	2710	2340	2790	3000	2290	2130	2100
	40	50	100	200	200	40	0	100	50	100
	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	+1	+1,5	+1	-1,5	+1	-2	-1,5	+1	+1,5	+1
	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6
	746	743	754	737	749	738	732	750	752	756
	14	8	7	3	0	12	11	16	12	8
9	2840	3200	2350	2400	2480	2230	2000	2030	2470	2090
	30	0	50	200	40	70	50	40	80	70
	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	-1,5	+1	+1	+1,5	+1	-1,5	+1,5	-1	+1	+1,5
	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4
	735	730	742	733	736	743	740	739	736	750
	3	7	11	14	17	15	12	13	18	10

ЗАДАНИЕ №4

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

Краткие теоретические сведения к заданию №4

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).

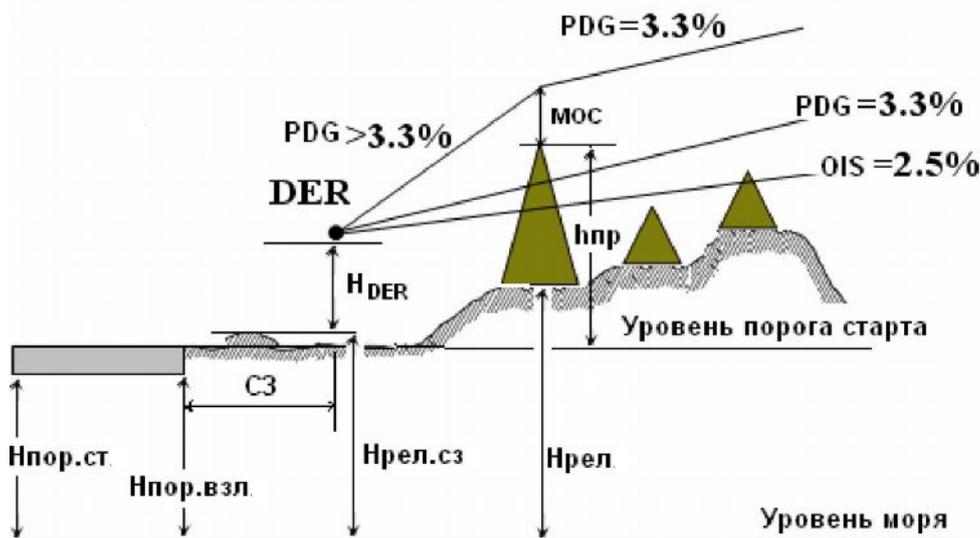


Рис.1. Определение начала схемы вылета и градиента набора высоты

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), имеющая 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 **МОС** 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 (**TR**) (рис.3).

Методические указания по выполнению задания №5

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.3). 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 $D_p = 10000\text{м}-СЗ$. Возле препятствий указываются порядковые номера из табл.3.

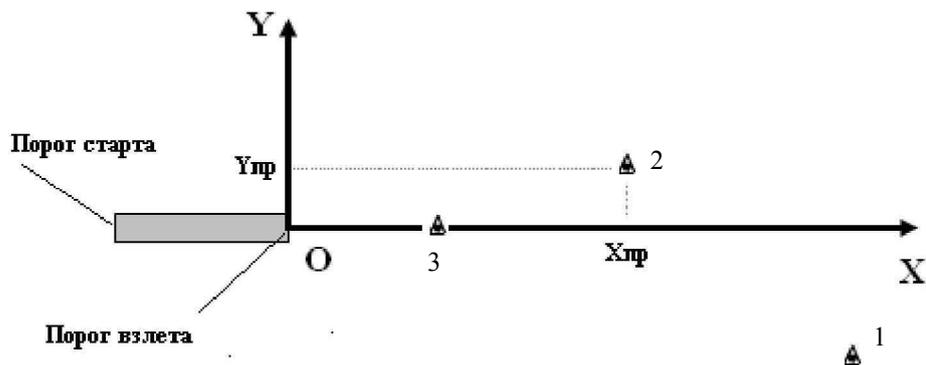


Рис.2. Система координат

Таблица 3

Образец таблицы препятствий

№пп	Название препятствия	Xпр, м	Yпр,м	Hпр,м
1	Возвышенность	+ 9600	- 2570	370
2	Труба	+5320	+ 400	60
3	Антенна ДПРМ	+ 4000	0	25

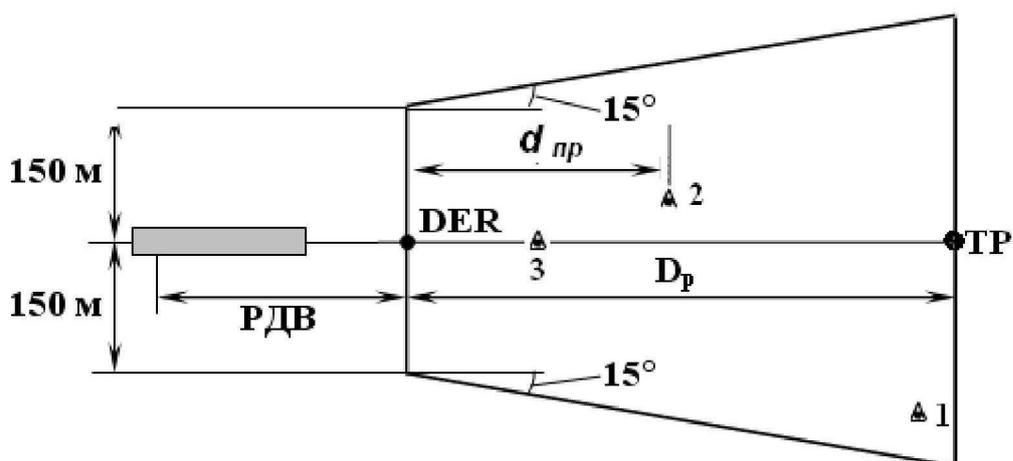


Рис. 3. Зона учета препятствий.

4. Рассчитать H_{DER} (см. рис.1).

5. Для каждого препятствия рассчитать его относительную высоту:

$$h_{np} = H_{np} - H_{пор. ст.}$$

6. Для каждого препятствия рассчитать МОС:

$$MOC = 0,008 \cdot d_{np}$$

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

$$PDG = \frac{h_{np} + MOC - H_{DER}}{d_{np}}$$

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

ЗАДАНИЕ №5

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 = 120° измерен МК = 121° и КУР = 177° .
Пройденное расстояние $S_{пр} = 80$ 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 10 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 $A = 250^\circ$, $D = 170$ 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 №6

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 являются

математическое ожидание M_X , дисперсия D_X и средняя квадратическая погрешность (СКП) σ_X .

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).

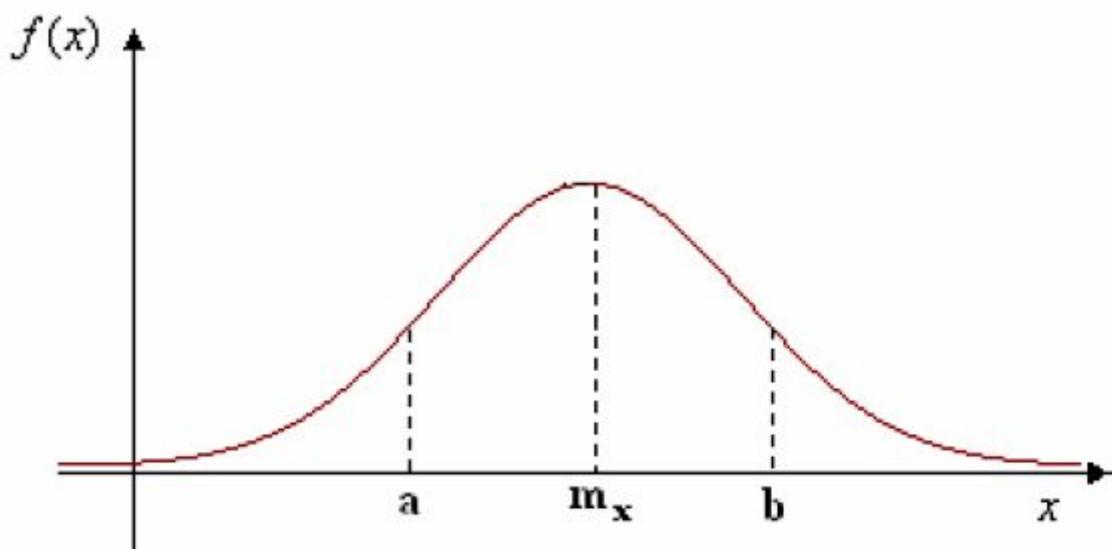


Рис.4. Функция плотности распределения

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.5).

$$P(a \leq x^* \leq b) = \int_a^b f(x) dx$$

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. 4.

Функция Лапласа монотонно возрастающая, нечетная, т.е

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

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

$$P(a \leq x^* \leq b) = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{b - m_x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{a - m_x}{\sigma_x}\right) \right]. \quad (1)$$

Если $m_x=0$, а пределы симметричны ($|a| = |b| = c$), то формула упрощается:

$$P(|x^*| \leq c) = \Phi\left(\frac{c}{\sigma_x}\right). \quad (2)$$

Функция Лапласа

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

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		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	0,5527	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		

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:

$$p(r^* < R_{зад}) = 1 - e^{-\frac{R_{зад}^2}{\sigma_r^2}} \quad (3)$$

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).

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

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

- 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:

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{\sigma_{p1}^2 + \sigma_{p2}^2}}{\sin \omega} \quad (4)$$

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:

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \sigma_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \sigma_{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \sigma_{x_n}\right)^2} \quad (5)$$

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

Например:

если $y = (x_1 + x_2)$ или $y = (x_1 - x_2)$, то $\sigma_y = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2}$;

если $y = x_1 \cdot x_2$, то $\sigma_y = \sqrt{(x_2 \sigma_{x_1})^2 + (x_1 \sigma_{x_2})^2}$;

если $y = 1/x$, то $\sigma_y = \sqrt{\left(-\frac{1}{x^2} \sigma_x\right)^2} = \left|\frac{1}{x^2} \sigma_x\right|$.

Методические указания по выполнению задания №5

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. Воздушная навигация и аэронавигационное обеспечение полетов / Под ред. Н. Ф. Миронова. М.: Транспорт, 1992.
2. Руководство по построению аэродромных схем и определению безопасных высот пролета препятствий. Изд.3-е, дополненное. СПб,1998.
3. Единая методика определения минимумов аэродромов для взлета и посадки воздушных судов. М.: Воениздат, 1994.
4. Воздушная навигация: Методические указания по изучению раздела "Точность и надежность самолетовождения"/ ОЛАГА, Л., 1987.
5. Аэронавигационное обеспечение полетов: Методические указания по расчету взлетно-посадочных характеристик воздушных судов / АГА. СПб, 1999.
6. Аэронавигационное обеспечение полетов: Методические указания по изучению формата передачи аэронавигационных данных ARINC -424 / АГА. СПб, 1999.
7. Аэронавигационное обеспечение полетов: Методические указания к изучению темы "Критерии ИКАО, применяемые при построении аэродромных схем" / АГА. СПб, 1997.

Дополнительная

8. ИКАО. Приложение 4. Аэронавигационные карты (Aeronautical Charts). Изд.9, 1995.
9. ИКАО. Приложение 15. Службы аэронавигационной информации (Aeronautical Information Services). Изд.11, 2003.
10. ИКАО. Doc.8168. Производство полетов воздушных судов (Aircraft Operations) - PANS-OPS. Изд.5, 2007.
11. ИКАО Doc.8126. Руководство по САИ (AIS Manual). Изд.5, 1995.
12. ИКАО Doc.8697. Руководство по авиационным картам. Изд.2, 1987.
13. ИКАО Doc.9674. Руководство по всемирной геодезической системе-1984 (WGS-84). Изд.1, 1997.
14. ИКАО Doc.9613. Руководство по требуемым навигационным характеристикам. Изд.1, 1994.