

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

---

А.В. Старых

**БОРТОВЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ  
ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Пособие к изучению дисциплины  
и контрольные задания  
*для студентов V курса  
специальности 160903  
заочного обучения*

Москва - 2008



## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дисциплина «Бортовые радиоэлектронные системы воздушных судов» изучается на 5 курсе, требует хороших знаний по общетехническим дисциплинам и большой самостоятельной работы. Её освоение является залогом успешной работы при изучении вопросов, связанных с бортовыми пилотажно-навигационными комплексами (БПНК).

В связи с этим изучение дисциплины «Бортовые радиоэлектронные системы воздушных судов» является непременным условием профессиональной подготовки инженеров гражданской авиации, специализирующихся в области технической эксплуатации БПНК, имеет своей целью получение необходимых знаний по основам теории и практики построения бортовых радиоэлектронных систем, принципам действия, основным параметрам, конструкции и особенностям применения бортовых радиолокационных, радионавигационных, связных станций и самолетных ответчиков гражданской авиации.

Постоянное совершенствование бортовых радиоэлектронных систем воздушных судов, широкое внедрение новой элементной базы, цифровой обработки сигналов, микропроцессоров и микро- ЭВМ, расширение на этой основе функциональных возможностей РЭО, повышение эффективности и качества их эксплуатации призваны повысить безопасность и регулярность полетов ВС.

Исходя из сложившихся в настоящее время концептуальных воззрений, предмет дисциплины «Бортовые радиоэлектронные системы воздушных судов» можно определить так:

- установление закономерностей, относящихся к оптимальному принципу построения бортового РЭО;
- выявление путей и разработка критериев повышения эффективности использования бортового РЭО;
- синтез бортового РЭО с заданными параметрами функционального использования;
- реализация комплексного использования радиолокационной и радионавигационной информации в современных навигационных комплексах.

На основании приобретаемых знаний по вопросам:

- роль бортового РЭО в обеспечении безопасности полетов ВС;
  - общие технические и эксплуатационные требования, нормы ИКАО, основные государственные стандарты, а также стандарты и рекомендации международных организаций, относящиеся к бортовому РЭО, к системам более высокого иерархического уровня, в составе которых работают бортовые радиолокационные, радионавигационные и связные устройства;
  - тактические задачи самолетовождения и управления воздушным движением, решаемые с помощью бортового радиоэлектронного оборудования, методы их решения и принципы, лежащие в основе этих методов;
  - основные характеристики, функциональные схемы и некоторые особенности отдельных принципиальных схем бортового РЭО ВС;
  - особенности конструкции изучаемых объектов;
  - органы управления и правила проверки функционирования указанных выше бортового РЭО ВС;
  - элементная база современной радиоэлектронной аппаратуры;
  - контрольно-измерительная аппаратура радиолокационных, радионавигационных и связных станций;
  - специальные требования по охране труда, технике безопасности;
- студенты должны:
- производить проверку функционирования и простейшие регулировки изучаемого оборудования;
  - самостоятельно работать с современной научной и технической литературой в области радиолокационных, радионавигационных и связных систем, изучать новейшее радиоэлектронное оборудование, пользуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации;
  - производить необходимые расчеты, определяющие взаимосвязь эксплуатационных и технических характеристик радиоэлектронных систем;
  - находить и устранять простейшие неисправности в радиоэлектронной аппаратуре, производить измерения основных характеристик РЭО.

Кроме того, в результате изучения дисциплины студенты должны иметь представление о перспективах развития бортового радиоэлектронного оборудования.

Современные бортовые радиоэлектронные системы включают в себя большое количество подсистем более низкого порядка. Поэтому изучению дисциплины «Бортовые радиоэлектронные системы воздушных судов» должно предшествовать усвоение следующих специальных дисциплин: «Основы электроники», «Радиоавтоматика», «Вычислительная техника».

Для успешного изучения дисциплины «Бортовые радиоэлектронные системы воздушных судов» студент должен:

- иметь хорошую подготовку в области математики, физики, электротехники, электронной техники, аналоговых и цифровых элементов радиотехнических устройств.

Основной объем учебного материала усваивается студентами-заочниками в процессе самостоятельной работы в соответствии с данными методическими указаниями. Наиболее важные и трудные для усвоения вопросы рассматриваются также в лекционном курсе. Кроме того, студенты выполняют цикл лабораторных работ, на которых изучаются особенности конкретного радиолокационного, радионавигационного и связного оборудования ВС и исследуются характеристики его блоков и узлов. Учебный план предусматривает выполнение контрольной работы.

## 2. ЛИТЕРАТУРА

### ОСНОВНАЯ:

1. Вдовиченко Н.С., Набатов О.С., Соломенцев В.В. Системы связи воздушных судов гражданской авиации: Учебное пособие для вузов М.: Транспорт, 1988.
2. Радиолокационные системы воздушных судов /Под ред. П.С. Давыдова. М.: Транспорт, 1988.
3. Радионавигационные системы летательных аппаратов. /Под ред. П.С. Давыдова. Учебник для вузов ГА. М.: Транспорт, 1980.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

4. Технические описания радио связных, радиолокационных и радионавигационных устройств. ( Микрон, Баклан, ..., РЛС «Гроза», ..., РВ-5, ...ит.д.).

### 3. ВВЕДЕНИЕ

Безопасность и регулярность полетов, точность самолетовождения, пропускная способность аэропортов, определяющие эффективность воздушного транспорта, во многом зависят от наличия, совершенства и работоспособности радиотехнического наземного и бортового оборудования.

Бортовые и наземные радиотехнические системы в гражданской авиации в настоящее время являются единственным средством контроля и управления воздушным движением в простых и сложных метеорологических условиях на всех этапах полета.

Высокая интенсивность воздушного движения в районах крупных аэропортов при больших скоростях самолетов, даже при хорошей видимости, не позволяет использовать визуальные методы управления движением воздушных судов, как в воздухе, так и на аэродроме без применения радиосредств. Задачи организации технического обслуживания воздушных судов в современном аэропорту, занимающем площадь несколько десятков квадратных километров, координация и взаимодействие наземных служб, обеспечивающих подготовку авиационной техники и наземного оборудования к полетам, в настоящее время не могут быть решены без четко организованной службы связи, включая и связь по радио.

Повышение эффективности воздушного транспорта, обеспечение безопасности и регулярности полетов объективно привело к высокой насыщенности современного самолета достаточно сложными автоматическими и полуавтоматическими системами контроля и управления отдельными агрегатами и летательным аппаратом в целом.

Подготовка и контроль работоспособности бортового пилотажно-навигационного комплекса (БПНК), включающего в себя системы и устройства различной физической природы (магнитные, барометрические, гидравлические, инерциальные, электро- и радиотехнические), предъявляют к специалистам, эксплуатирующим современные воздушные суда, особые требования. Наряду с глубокими знаниями и практическими навыками по обслуживанию отдельных систем летательных

аппаратов (планера, двигателей, авиационного и радиоэлектронного оборудования), они должны уметь определять работоспособность всего бортового пилотажно-навигационного комплекса как целого, так как работоспособность отдельных систем еще не означает работоспособности всего комплекса.

Принципиальными особенностями решения транспортных задач в гражданской авиации являются:

1. Независимость полетов от характера местности (вода, суша), ее состояния и рельефа по трассе полета.
2. Зависимость полетов (регулярность и безопасность, точность самолетовождения) от состояния атмосферы, времени суток и видимости.

Основываясь на особенностях транспортировки грузов по воздуху, формулируют **общую навигационную задачу**: безопасный вывод воздушного судна в заданную точку пространства в заданный момент времени с заданной скоростью.

Сущность выполнения полета состоит в сравнении истинного положения судна в пространстве с положением, заданным программой, и сведении расхождений к нулю с помощью органов управления самолетом и тягой двигателей.

Ошибки самолетовождения возникают из-за незнания истинной величины и направления ветра по маршруту полета и ошибок приборов контроля и, следовательно, ошибок в пилотировании воздушного судна. Важность решения общей навигационной задачи, в которой сформулированы по сути требования безопасности и регулярности полетов, нашла отражение в многократном дублировании и резервировании датчиков информации на уровне не только приборов, но и систем.

Так, на современном самолете используются барометрические и радиотехнические высотомеры, магнитные, гироскопические и радиокомпасы, инерциальные и доплеровские измерители путевой скорости. Радиотехнические дальномерные, угломерные и угломерно-дальномерные системы контроля полета обеспечивают весьма высокую точность самолетовождения. Бортовые радиолокационные станции в определенной мере приближают выполнение полета по приборам к выполнению полета по правилам визуального полета.



Следует отметить, несмотря на сложность и обособленность, радиотехнические средства контроля положения воздушного судна в пространстве являются датчиками информации для системы управления воздушным судном наряду с другими техническими средствами и приборами - датчиками информации, используемыми при визуальном и приборном методах самолетовождения.

Таким образом, датчики информации различной физической природы: барометрические (высотомер, указатель воздушной скорости, указатель вертикальной скорости); магнитные (компас); гравитационные (указатель скольжения); гироскопические; инерциальные; радиотехнические (высотомеры, компас, измеритель путевой скорости) - представляют собой информационную часть пилотажно-навигационного комплекса.

На долю бортового пилотажно-навигационного комплекса приходится до 60% стоимости современного магистрального самолета.

Сформулированные ниже четыре задачи, решаемые с помощью радиооборудования, указывают на его особую роль в решении общей навигационной задачи и особое место в БПНК:

1. Автономный и неавтономный контроль положения воздушного судна на заданной траектории.
2. Оперативная оценка безопасности полета по данной траектории и выработка новой безопасной траектории при необходимости.
3. Связь и обеспечение системы управления воздушным движением, информацией для организации безопасного воздушного движения.
4. Коррекция данных, получаемых с помощью других систем БПНК.

Высокая точность определения места воздушного судна, обусловленная использованием радиодальнометрии, дает возможность получения радиолокационного изображения местности, весьма близкого ее изображению на топографической карте. Возможность передачи информации по радио практически на любые расстояния вне зависимости от погоды определили особую роль радиотехнических систем и радиотехнического обеспечения полетов ГА. Эти свойства радиотехнических систем обусловлены характеристиками радиоволн, которые могут быть

сравнительно легко получены с помощью генераторных устройств, реализуемых практически в любых заданных габаритах и массе. Сравнительно легко выполняется управление электромагнитными колебаниями (модуляция) - изменение амплитуды, фазы и частоты по закону передаваемого сообщения. Прием, усиление радиосигналов и выделение переносимой ими информации также не вызывает особых трудностей. То обстоятельство, что электромагнитные колебания радиочастотного диапазона с успехом могут быть использованы и для получения информации о наличии и взаимном расположении радиоконтрастных объектов в пространстве и скорости их движения, выдвигают радиотехнические устройства в разряд средств контроля положения воздушного судна в пространстве, т.е. непосредственного измерения его координат и скорости движения.

Изучение любой отрасли знания целесообразно начинать с определений. Определенную сложность при изучении радиооборудования представляет большое разнообразие радиотехнических систем получения смысловой и измерительной информации, типов и разновидностей радиоаппаратуры, обусловленное спецификой решения задач получения информации на различных этапах полета на борту и на земле с помощью автономных и неавтономных радиотехнических систем. Специфика решения задач контроля полета на различных его этапах выражается в существенных различиях тактико-технических характеристик. Это приводит к необходимости использовать различные методы получения и передачи информации и решать эти задачи различными техническими средствами с различными энергетическими потенциалами в различных частотных диапазонах с различными антенными устройствами.

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Общие сведения о бортовых радиоэлектронных системах воздушных судов

Введение к дисциплине. Цели и задачи дисциплины. Значение дисциплины для специалистов ГА. Связь дисциплины с социально-экономическими и экономическими дисциплинами, с курсом технической эксплуатации БПНК. Общий обзор воздушных судов и их классификация по методам определения радиолокационных и навигационных параметров. Основные характеристики радиолокационных, навигационных и связных станций. Состав на самолетах типа Ту-154, Ил-62, Ил-86 и на самолетах МВЛ. Связь характеристик радиолокационных, навигационных и связных станций методами навигации, требованиями управления воздушным движением и безопасности полетов. Расчетные соотношения для энергетических и точностных характеристик. Бортовой навигационно-пилотажный комплекс. Взаимодействие РЭО и автономных датчиков в БПНК самолета ТУ-154. Задача оптимизации процессов функционирования авиационной транспортной системы. Использование метода счисления пути на основе ДИСС. Коррекция ошибок по данным РСБН.

Литература: [Осн.1-3, Доп. 4].

Приступая к изучению дисциплины «Бортовые радиоэлектронные системы воздушных судов», необходимо усвоить материал предыдущих курсов, четко уяснить цели и задачи дисциплины и ее взаимосвязи с другими дисциплинами, указанными в разделе «Общие методические указания». Бортовое радиоэлектронное оборудование воздушных судов является одним из составных элементов БПНК, формирующим информационное обеспечение пилотажно-навигационного комплекса. Высокая эффективность, автономность, информативность и надежность делают бортовое радиоэлектронное оборудование воздушных судов незаменимыми для обеспечения безопасности воздушного движения.

Необходимо подчеркнуть, что радиоэлектронные системы продолжают развиваться в настоящее время особенно быстрыми темпами

на основе последних достижений микроэлектроники; теории информации, кибернетики, электроники СВЧ и техники цифровой обработки сигналов.

Классификация бортового радиоэлектронного оборудования воздушных судов может проводиться по различным признакам: по принципу взаимодействия с целью, по характеру излучаемых сигналов и др. В частности, по назначению бортовое радиоэлектронное оборудование воздушных судов делятся на: радиолокационное (РЛС обзора земли, РЛС предупреждения столкновений, метеорологические РЛС, метеонавигационные РЛС, РЛС бокового обзора, радиолокационные самолетные ответчики, радиовысотомеры, доплеровские измерители путевой скорости и угла сноса самолета), радионавигационное (АРК, КУРС МП, РСБН, РСДН, СД), связное оборудование (Баклан, Микрон).

Радиотехнические методы и средства навигации получили в настоящее время широкое распространение. Без использования радиоэлектронного оборудования не осуществляется ни один полет. Однако радиотехнические методы не являются единственными. При изучении истории развития технических средств навигаций необходимо обратить внимание на преемственность этапов развития, разобраться с физическими основами различных средств навигаций.

Для выполнения полета в заданном направлении и в течение заданного времени экипаж должен вести самолет по определенной траектории. Величины, определяющие полет по траектории, называются аэронавигационными элементами. Необходимо разобраться с понятиями: курс самолета, угол сноса, путевой угол, курсовой угол, пеленг, воздушная и путевая скорости, время, высота полета. Надо изучить пути использования в решении различных задач навигационного треугольника скоростей.

Геометрическое место точек, в каждой из которых сохраняется неизменным значение одной из величин, определяющих местоположение самолета, принято называть линией положения самолета. Следует изучить методы определения места самолета с помощью основных линий положения: линии равных пеленгов (азимутов), линий равных разностей расстояний.

Принцип действия радионавигационных средств сводится к тому, что между одной из пространственных координат (дальность, азимут, угол места) и параметром электромагнитной волны (амплитуда, фаза, частота, время распространения) устанавливается жесткая связь. Надо изучить обобщенные схемы радиотехнических средств получения навигационной информации.

Автономные и неавтономные (используется как бортовая, так и наземная аппаратура) радионавигационные средства оцениваются рядом тактико-технических характеристик: диапазон волн, точность, дальность действия, пропускная способность, помехозащищенность, надежность и другие общие радиотехнические, конструктивные и эксплуатационные показатели. Следует обратить внимание на понятие рабочей зоны и рассмотреть рабочие зоны угломерной и дальномерной радионавигационных систем.

#### 4. 2. Организация авиационной связи

Роль авиационной связи в УВД. Виды авиационной связи. Требования к авиационной связи. Принципы организации авиационной связи. Организация авиационной воздушной связи. Организация авиационной наземной радиосвязи. Организация авиационной наземной проводной связи. Особенности организации авиационной связи в АС УВД. Особенности организации авиационной связи в АС УВД. Организация связи метеобеспечения полетов.

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

Авиационная связь является одним из основных средств обеспечения полетов. Она предназначена для связи диспетчерских пунктов УВД с экипажами самолетов и для взаимодействия диспетчерских пунктов между собой. Требования к авиационной связи определяются основной задачей гражданской авиации - обеспечения безопасности полетов. Основным видом авиационной воздушной связи является радиосвязь в диапазоне метровых волн и резервная - в диапазоне декаметровых волн. Для организации авиационной наземной связи используется радиосвязь, в том числе и по арендованным каналам. Для наземной связи применя-

ется телефонная и телеграфная связь. В последние годы, особенно с внедрением систем АС УВД, применяется передача данных.

#### 4. 3. Организация связи в автоматизированных системах УВД

Роль связи в АС УВД. Виды связи в АС УВД. Требования к связи в АС УВД. Организация связи в зонавых, районных и аэродромных АС УВД. Организация связи в АС УВД с использованием ИСЗ. Организация связи в центрах АС УВД.

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

Связь в АС УВД предназначена для передачи голосовой, радиолокационной и другой информации между самолетами и центрами АС УВД, а также для взаимодействия между диспетчерами. С развитием бортовых пилотажно-навигационных комплексов и степени автоматизации УВД широкое применение получит обмен данными между бортовыми и наземными ЭВМ. Большая часть информации в АС УВД передается в цифровом виде.

Информация от самолетов по радиоканалам поступает на радиолокационные позиции (РЛП), а затем по наземным каналам, в том числе по междугородным каналам ЕАСС, передается в центры АС УВД. Поэтому каналы связи в АС УВД, как правило, являются комбинированными. Протяженность каналов наземной связи может достигать сотен километров. Это является одной из особенностей связи в АС УВД, которая относится к авиационной связи.

В состав систем связи АС УВД входят почти все виды проводной и радиосвязи. Организация радиосвязи в метровом и декаметровом диапазоне соответствует общим принципам организации авиационной воздушной связи и авиационной наземной связи с учетом структуры АС УВД. Информация передается по узкополосным стандартным каналам тональной частоты (ТЧ) и широкополосным каналам.

При использовании ИСЗ связь в АС УВД может быть организована при минимальном количестве центров АС УВД и с большинством самолетов, совершающих полеты.

При передаче информации по наземным приводным каналам ЕАСС организуется вторичная сеть связи гражданской авиации. Каналы этой сети используются для различных целей, в том числе и для передачи информации АС УВД. Для организации связи в центрах АС УВД применяется телефонная и громкоговорящая связь. Для телефонной связи используется АТС, а для громкоговорящей связи - унифицированные пульта. Эти пульта дают возможность диспетчерам поддерживать радиосвязь с самолетами своего сектора, вести переговоры с соседними диспетчерами и передавать связь с самолетами на пульт другого диспетчера.

#### 4. 4. Системы связи

Основные элементы систем связи. Классификация систем связи. Требования к системам связи. Принципы построения систем связи. Использование систем связи в автоматизированных системах управления.

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

В современных системах связи можно выделить две основные группы устройств. Первая - устройства передачи информации, к которым относятся каналы и каналообразующая аппаратура, абонентские устройства приема и передачи информации, устройства кодирования и преобразования сигналов и другие устройства, обеспечивающие передачу информации из одного пункта в другой. Вторая - устройства коммутации и управления узлов сети связи.

Обратите особое внимание на определение и сущность понятий системы, канала и линии связи. Следует отметить, что термин "система" часто используется в определении отдельного устройства или видов связи, например, "система распределения информации", "многоканальная система связи", "система передачи дискретной информации" и т.д.

#### 4. 5. Каналы и линии связи

Виды каналов связи. Основные элементы каналов связи. Требования к каналам связи в ГА. Основные характеристики каналов связи.

Приводные линии связи самолетов и их характеристика. Передача сигналов по радиоприемам связи. Особенности передачи гектометровых, декаметровых и метровых, дециметровых и сантиметровых волн по каналам радиосвязи. Искажения сигналов в каналах радиосвязи. Помехоустойчивость каналов радиосвязи. Электромагнитная совместимость каналов радиосвязи. Особенности передачи сигналов по радиорелейным линиям связи и линиям связи через ИСЗ. Особенности построения каналов и линий связи в АС УВД.

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

Каналы и линии связи относятся к устройствам передачи информации системы связи. Поэтому и рассматривать их надо с позиции построения системы связи.

Каналы связи имеют ряд общих характеристик, которые не зависят от вида линии связи. Надо знать эти характеристики и уметь показать их в системах электросвязи ГА, в которых часто используются на отдельных участках различные виды линий связи.

Основными характеристиками каналов являются: ширина полосы частот, скорость распространения сигналов, динамический диапазон, остаточное затухание, устойчивость, амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики.

Обратите внимание на параметры каналов, используемых для передачи данных. Эти каналы найдут широкое применение в автоматизированных системах УВД.

При изучении отдельных видов линий связи необходимо особое внимание уделить вопросам передачи сигналов, параметрам линий, искажениям сигналов и помехоустойчивости каналов. Изучая эти вопросы, постарайтесь вывести формулы и начертить частотные зависимости параметров линий связи. Обратите внимание на возможности применения оптических линий связи на самолетах.

#### 4.6. Системы связи с преобразованием дискретных сигналов

Структурные схемы одноканальных и многоканальных систем связи с преобразованием дискретных сигналов. Принципы преобразования



дискретных сигналов в узкополосных и широкополосных каналах связи. Принципы построения устройств преобразования сигналов (УПС). Цифровое преобразование дискретных сигналов. Спутниковые системы связи (ССС) как многоканальные системы с преобразованием дискретных сигналов. Принципы многостанционного доступа при связи ВС через ССС. Энергетический расчет ССС. Широкополосные системы передачи дискретной информации, достоинства и недостатки, принципы и методики реализации.

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

Системы связи с преобразованием дискретного сигнала по принципу построения структурных схем являются практически одинаковыми, независимо от вида используемой линии связи. Так же, как и в системах электросвязи с преобразованием непрерывного сигнала, в рассматриваемых системах главное отличие будет в выходных устройствах, преобразовывающих дискретные сигналы в форму, удобную для передачи по данной линии связи (проводной, радио, радиорелейной или через искусственные спутники Земли).

Основными устройствами в системах связи с преобразованием дискретного сигнала являются УПС или как их называют, модемы (модуляторы-демодуляторы). УПС классифицируются по многим признакам, однако среди основных можно выделить скорость передачи и тип модуляции. Для связи с ВС модемы могут использоваться для согласования передаваемых дискретных сигналов с радиостанциями. Необходимо четко представлять схему модемов, особенности основных их узлов. Необходимо обратить внимание на возможность реализации модемов на базе вычислительной техники.

При изучении материала по ССС нужно представлять особенности их применение для ГА. К основным сферам такого применения относятся ВС в северных районах страны, полеты над океаническими пространствами и обслуживание ВС при ПАНХ и МВЛ.

#### 4.7. Системы связи для передачи непрерывных сигналов

Непрерывные сигналы связи и их характеристики. Непрерывные сообщения и непрерывные сигналы. Основные характеристики непрерывных сигналов. Характеристика модели речеобразования. Оценка громкости звуков. Оценка качества передачи речевых сигналов. Разборчивость речи. Избыточность речевых сигналов и методы ее уменьшения. Компрессия речевых сигналов. Формализация речевых сообщений. Цифровая обработка речевых сигналов. Вокодеры.

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

Изучая характеристики непрерывных сигналов связи, необходимо основное внимание обратить на те из них, которые позволяют выбрать ширину канала для обеспечения заданного качества связи. Эти характеристики определяются на основании изучения свойств речи и слуха человека. Из характеристик речи следует знать такие, как интенсивности звуков, уровни интенсивностей, форманты, динамический диапазон, ширина спектра и длительность звуков. Уровни громкости (характеристика слуха) характеризуются кривыми равных громкостей. Необходимо знать, как по этим кривым оценивается громкость звуков. Изучая модель речеобразования, необходимо обратить внимание как на физическую сторону процесса, так и на возможность построения цифровой модели речеобразования. На основе последней базируется цифровая обработка речевых сигналов.

Основной оценкой качества связи является разборчивость речи. Надо знать виды разборчивости и методы ее определения.

Речевые сигналы имеют большую избыточность. Она наглядно проявляется в сравнении объемов речевых и телеграфных сигналов. Пути уменьшения избыточности речевых сигналов является компрессия речи и формализация речевых сообщений. Необходимо четко различать непосредственную и функциональную компрессию речи. Формализация речевых сообщений по существу сводится к кодированию сообщений и уменьшению полосы частот.

При изучении материала по вокодерам необходимо уяснить, что они являются устройствами, реализующими функциональную компрес-

сию. Нужно знать общие принципы построения вокодеров, схему полосного вокодера и вокодера с линейным предсказанием речи.

#### 4. 8. Классификация систем связи для передачи непрерывных сигналов

Системы связи без преобразования и с преобразованием исходного непрерывного сигнала. Системы связи без преобразования исходного сигнала. Громкоговорящие, переговорные и комбинированные системы внутрибортовой связи. Системы связи с преобразованием исходного непрерывного сигнала, метровые, декаметровые и гектометровые радиостанции. Аварийно-спасательные радиостанции. Системы связи с дискретным преобразованием исходного непрерывного сигнала. Системы связи с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) и дельта-модуляцией (ДМ).

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

Системы связи для передачи непрерывных сигналов могут классифицироваться по различным признакам: применяемой линии связи, модуляции сигналов, диапазону частот и т.д. Однако есть у них и общий классификационный признак способ преобразования исходного электрического сигнала. По этому признаку все системы электросвязи подразделяются на системы без преобразования сигнала, с преобразованием сигнала и с дискретным преобразованием сигнала.

К системам связи без преобразования сигналов относятся внутрибортовые системы, в частности, переговорные СПУ-7, громкоговорящие СГУ-15 и система СГС-25, комбинированные переговорно-громкоговорящие СПГС-1, СПГУ, системы П-512. В этих системах присутствует только первичное преобразование сигналов с помощью электроакустических преобразователей.

В системах связи с преобразованием сигналов кроме первичного присутствует и вторичное преобразование с помощью модуляции. Это осуществляется в радиостанциях различных диапазонов (МВ, ДКМВ, ГКМВ).

Системы связи с дискретным преобразованием, в частности с ИКМ, в ближайшее время находят все большее применение на ВС при обеспечении трансляции музыкальных и вещательных программ в салонах воздушных судов. Перспективным, например, для спутниковых систем связи является преобразование сигналов с помощью дельта-модуляции.

#### 4. 9. Системы связи без преобразования непрерывных сигналов

Характеристика внутрибортовых переговорных, громкоговорящих и комбинированных систем связи. Функциональные схемы систем СПУ-7, СГУ-15, СГС-25, СПГС-1. Режимы их работы. Принципы построения электроакустических преобразователей и их характеристики.

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

При изучении каждой из внутрибортовых систем необходимо четко представить их задачи. Например, самолетное переговорное устройство СПУ-7 предназначено для взаимодействия членов экипажа между собой, для выхода на внешнюю связь через радиостанции, для прослушивания радио и специальных сигналов, для взаимодействия экипажа и обслуживающего персонала, для взаимодействия обслуживающего персонала между собой. При изучении этих систем необходимо обратить внимание на особенности прохождения сигналов в каждой из систем во всех режимах работы. Необходимо обратить внимание на особенности размещения оборудования на ВС и выделить решения, которые обусловлены условиями работы аппаратуры на конкретном типе ВС.

При изучении электроакустических преобразователей обратите внимание на преобразователи с дифференциальной магнитной системой. Проанализируйте условия неискаженного преобразования сигналов в электромагнитных телефонах с простой и дифференциальной магнитной системой.

#### 4. 10. Системы связи с преобразованием непрерывного сигнала

Структурная схема системы связи с преобразованием непрерывного сигнала и характеристика ее основных элементов. Принципы построения метровых, декаметровых и гектометровых радиостанций.

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

Особенностью структурной схемы системы связи с преобразованием непрерывного сигнала является наличие приемника, передатчика, синтезатора частот и блока питания. Конструктивное и схемное выполнение этих блоков в разных радиостанциях иное. Так, при небольшой мощности передатчика и относительно невысокой чувствительности приемника в МВ радиостанциях эти блоки komponуются в виде одного блока. В ДКМВ радиостанциях - это отдельно выполненные блоки. В аварийно-спасательных радиостанциях из-за небольшого количества рабочих частот синтезатор частот выполняется в виде отдельных кварцев, а блок питания в виде отдельных герметичных источников.

На ВС в качестве систем связи с преобразованием непрерывного сигнала используются в основном радиостанции. Изучая материал по радиостанциям, необходимо обратить внимание на основные тактико-технические данные и комплект, на функциональные схемы и особенности принципиальных схем. Необходимо изучить МВ радиостанции "Баклан", "Бриз", "Орлан", ДКМВ радиостанции "Микрон" и "Ядро", ГКМВ радиостанцию «Широта». Особенностью радиостанции "Орлан-Ц" является наличие режима работы "передача данных". Радиостанция при этом используется совместно с модемом. Радиостанции "Ядро" выпускаются двух вариантов - "Ядро-1" и "Ядро-П". Радиостанции отличаются диапазоном частот и выходной мощностью.

Изучая материал по синтезаторам частот, обратите внимание на перспективность схем косвенного синтеза частот, на возможность реализации синтезаторов частот на базе вычислительной техники.

#### 4.11. Системы документирования информации

Теоретические основы записи, воспроизведения и стирания сигналов. Принципы построения функциональных схем аппаратуры "МАРС-БМ" и "АРФА-МБ". Характеристика основных функциональных частей и режимов работы. Качество записи и воспроизведения звука. Принципы записи цифровых сигналов. Функциональная схема цифровых магнитофонов.

Литература: [Осн.1, Доп. 4].

При изучении этого раздела надо уяснить физические основы записи, воспроизведения и стирания сигналов. Изучите процессы намагничивания магнитного носителя и подмагничивания токами высокой частоты в процессе записи сигналов.

Качество записи и воспроизведения сигналов зависит от качества магнитных носителей и головок, характеристик усилителей записи и воспроизведения, стабильности работы лентопротяжного механизма. Надо знать требования, предъявляемые к отдельным функциональным частям магнитофонов «МАРС-БМ» и «АРФА-МБ», и принципы построения их функциональных схем.

#### 4.12. Основные характеристики и схемное построение метеонавигационной радиолокационной станции

Радиолокационная станция как система. Общий подход к выбору эксплуатационных и технических характеристик. Обобщенная структурная схема бортовой РЛС с внутренней и внешней синхронизацией. Основные каналы структурной схемы. Временные диаграммы напряжений (токов), поясняющие физические процессы. Структура цифровой РЛС. Требования к основным характеристикам бортовых радиолокаторов. Особенности обоснования и расчета эксплуатационно-технических характеристик многофункциональных РЛС.

Литература: [Осн.2, Доп. 4].

При изучении данного раздела целесообразно рассматривать особенности структуры бортовых РЛС в процессе их эволюции от первых ламповых радиолокаторов, имеющих 7-8 основных блоков, до современных РЛС, выполненных, главным образом, на интегральных микросхемах, имеющих 2-4 основных блока. Кроме того, следует учесть тенденцию все более широкого применения цифровой техники в бортовых РЛС, что существенно отражается и на структуре радиолокаторов. Если в первом отечественном бортовом метеорологическом радиолокаторе, использующем цифровую обработку сигналов, собственно цифровые устройства используются только в индикаторе, то в новых РЛС практически все связи между блоками будут осуществляться только в цифровой форме с помощью стандартных интерфейсов.

Необходимо не просто ознакомиться с требованиями и рекомендациями документов, регламентирующих параметры метеонавигационных радиолокаторов (МНРЛС), а проанализировать и понять причины тех или иных ограничений. Сначала следует уяснить особенности выбора эксплуатационных (тактических) характеристик системы, а затем изучить методику обоснования и расчета технических характеристик. Важно научиться свободно анализировать многочисленные взаимные связи между различными тактическими и техническими характеристиками бортовых радиолокаторов, разобраться в особенностях функционирования МНРЛС в различных режимах работы. При этом целесообразно начать с основных режимов работы МНРЛС ("Метео", "Земля", "Контур", "Снос"), в которых осуществляется прием отраженных сигналов от метеорологических объектов или поверхности земли, а затем рассмотреть особенности эксплуатационно-технических характеристик радиолокатора с режимом "Маяк", когда осуществляется прием сигналов, переизлученных расположенными на земной поверхности РЛМО, которые формируют ответные сигналы по запросу МНРЛС. При расчете и обосновании технических характеристик радиолинии МНРЛС-РЛМО и РЛМО-МНРЛС необходимо учитывать влияние помеховых отражений запросного сигнала от подстилающей поверхности, в том числе от взволнованной морской поверхности.

#### 4.13. Особенности передающих устройств бортовых радиолокаторов

Основные требования, предъявляемые к передатчикам импульсных бортовых радиолокаторов Улучшение согласования магнетрона с нагрузкой. Накальная характеристика магнетронов. Упрощение схемы магнитного, магнитно-тиристорного и тиристорного модуляторов соответственно РЛС "Гроза", "Контур-10", "Градиент". Контроль и регулировка тока магнетронов. Реле времени. Контроль, защита и управление в передатчиках бортовых РЛС.

Литература: [Осн.2, Доп. 4].

В бортовых радиолокационных системах в настоящее время находят применение как однокаскадные передатчики (на магнетронах), так и многокаскадные, строящиеся по схеме возбудитель - умножители частоты - усилитель. Необходимо уяснить преимущества и недостатки обоих видов передающих устройств. Следует также обратить внимание на имеющиеся тенденции снижения генерируемой мощности, повышения стабильности частоты и постепенного перехода на твердотельную элементную базу передатчиков МНРЛС.

Изучая принципы действия импульсных модуляторов, необходимо уяснить особенности применения различных коммутирующих приборов (электронных ламп, нелинейных индуктивностей, тиристоров, транзисторов), а также четко усвоить преимущества и недостатки режимов работы с полным и частичными разрядами накопителя.

#### 4.14. Особенности антенных устройств бортовых радиолокаторов

Типы антенн, применяемых в бортовых РЛС. Переключение формы диаграммы направленности ("веерный луч - игольчатый луч"). Антенные переключатели с ферритовыми циркуляторами и устройствами защиты приемника. Краткие сведения об антенных обтекателях. Особенности эксплуатации антенн бортовых РЛС. Устройства и методы контроля параметров антенно-фидерных систем. Техника безопасности при работе с радиолокационными антеннами.

Литература: [Осн.2, Доп. 4].



При изучении данного раздела следует учесть, что в современных МНРЛС используются не только антенны зеркального типа, но и пассивные целевые антенные решетки (например, в радиолокаторе "Контур-10"). Необходимо уяснить требования к антенным устройствам бортовых РЛС, в частности, понять, почему важно обеспечить низкий уровень боковых лепестков (на 20-25 дБ ниже уровня основного лепестка). Преимуществом зеркальных антенн является относительная простота коммутации формы диаграммы направленности с помощью ферритового вращателя плоскости поляризации, а недостатком (по сравнению со щелевыми антенными решетками) - относительно высокий уровень боковых лепестков. Следует также иметь в виду, что в последнее время в качестве привода антенны часто используют шаговые двигатели.

Необходимо ознакомиться с особенностями антенно-фидерных устройств и антенных переключателей МНРЛС, "Градиент", "Гроза", "Контур-10".

#### 4.15. Особенности приемных устройств бортовых радиолокаторов

Влияние амплитудной характеристики приемно-индикаторного тракта на качество радиолокационного изображения. Требования, предъявляемые к приемным устройствам бортовых РЛС. Методы получения логарифмических амплитудных характеристик УПЧ и различных амплитудных характеристик видеоусилителей в типовых бортовых радиолокаторах. Устройства выделения метеорологической информации. Особенности схем ВАРУ типовых бортовых радиолокаторов. Регулировка схем ВАРУ. Основные операции по изменению характеристик приемников и поиску неисправностей.

Литература: [Осн.2, Доп. 4].

Прежде всего необходимо рассмотреть функциональную схему, приемного радиолокационного устройства супергетеродинного типа, уяснить, основные требования к параметрам приемника, влияние их на основные эксплуатационно-технические характеристики всей РЛС. По-

нять назначение каждого функционального элемента и требования к нему.

Необходимо обратить внимание на меры, которые принимаются в приемниках бортовых РЛС для снижения общего коэффициента шума. При этом далеко не всегда идут по пути применения усилителей СВЧ, но, как правило, используют балансные смесители на кристаллических диодах в первых каскадах усилителей промежуточной частоты (УПЧ), выполняют по малошумящим схемам. Следует вспомнить и углубить известные из курса радиоприемных устройств представления о физике подавления шумов гетеродина в балансных смесителях, рассмотреть их практические схемы.

Для получения большого коэффициента усиления применяют многокаскадные УПЧ, которые конструктивно часто выполняют в виде двух узлов: предварительный (ПУПЧ) и основной УПЧ. В УПЧ реализуется оптимальная или квазиоптимальная фильтрация принимаемых сигналов.

Подробно следует остановиться на методах обеспечения широкого (порядка 70 дБ) динамического диапазона приемного канала радиолокатора. Можно понять причины использования УПЧ с логарифмической амплитудной характеристикой (ЛАХ) в бортовых РЛС с яркостной индикацией и рассмотреть две основные группы методов получения ЛАХ в УПЧ:

- 1) методы изменения коэффициентов передачи;
- 2) методы сложения выходных эффектов.

Наиболее подробно необходимо проанализировать два базовых метода построения УПЧ с ЛАХ, которые находят наиболее широкое применение в МНРЛС: метод последовательного детектирования с линейным сложением напряжений с выходов усилительных каскадов (относящийся ко 2-й группе) и метод шунтирования нагрузки нелинейными каскадами (относящийся к 1-й группе). Следует выполнить сравнительный анализ различных методов получения ЛАХ.

Каскады видеоусиления, которыми обычно заканчивается приемный канал МНРЛС, конструктивно могут быть расположены как в блоке индикатора, так и в приемопередатчике. Изучая видеотракт РЛС, следует сначала рассмотреть особенности требований к амплитудным

характеристикам традиционного видеоусилителя в различных режимах работы МНРЛС. При этом необходимо четко уяснить причины применения, физический смысл и особенности амплитудных характеристик трехтоновых видеоусилителей, которые используются при обзоре земной поверхности в РЛС с яркостной индикацией. Затем необходимо рассмотреть требования к видеоусилителям и особенности их реализации в режимах «Метео» и «Контур». В некоторых МНРЛС в режиме «Метео» используется специальный видеоусилитель-формирователь сигналов опасных направлений полета ("Гроза-М").

Следует иметь в виду, что в видеоканале осуществляется не просто усиление сигналов, а их специальная обработка с целью выделения того или иного вида полезной информации (об опасных метеообъектах, о характерных ориентирах и т. п.). В перспективных МНРЛС эта обработка будет выполняться в цифровой форме.

Особенностью МНРЛС, осуществляющих количественный анализ опасности метеообъектов по амплитудным характеристикам сигналов, является: наличие схем ВАРУ, которые позволяют устранить зависимость величины отраженного сигнала от дальности. Обычно дистанция действия ВАРУ ограничена расстоянием, на котором не требуется высокая чувствительность приемника. Необходимо изучить требования к форме импульсов ВАРУ, разобраться в особенностях их регулировки и рассмотреть примеры конкретной реализации.

К приемному каналу обычно относят также системы АПЧ, которые рассматриваются в следующем разделе.

#### 4.16. Особенности устройства АПЧ бортовых радиолокаторов

Особенности АПЧ импульсных радиолокаторов. Обобщенная функциональная схема АПЧ бортовых радиолокаторов. Правильная и ложная настройка гетеродина. Методы исключения ложной настройки; поиск в ограниченных пределах и направленный поиск частоты. Ручной и автоматический поиск частоты. Особенности управляющих схем АПЧ при использовании в качестве гетеродина отражательного клистрона и лампы обратной волны.

Литература: [Осн.2, Доп. 4].

Необходимо знать достоинства и недостатки одно- и двухканальной АПЧ, а также назначение элементов функциональных схем систем АПЧ. В качестве примера следящей АПЧ разностного типа целесообразно рассмотреть систему АПЧ РЛС «Гроза». Следует иметь в виду, что при модернизации РЛС "Гроза" первоначальная схема АПЧ усовершенствована, что позволило, в частности, автоматизировать поиск при первоначальном включении РЛС. Для правильной и устойчивой работы АПЧ важно, чтобы импульс опорной частоты от передатчика был стабилен по параметрам. Поэтому для устранения влияния изменения параметров сигнала в течение длительности импульса передатчика в последнее время используют стробирующие импульсы, которые открывают вход схемы АПЧ только на время действия плоской части огибающей зондирующего импульса.

#### 4.17. Особенности индикаторов и схем развертки

Упрощенные схемы формирования радиально-круговой (радиально-секторной) развертки с дискретным и плавным измерением масштаба в типовых РЛС ("Гроза", "Гроза-М", "Градиент"). Фиксаторы уровня. Принцип отображения опасных направлений полета при обнаружении метеообразований. Методы уменьшения мерцаний и повышения яркости изображений. Индикаторы с запоминающими электронно-лучевыми трубками ("Гроза-86", "Градиент"). Индикаторы с цифровой памятью ("Контур-10"). Цветные индикаторы телевизионного типа.

Литература: [Осн.2, Доп. 4].

Необходимо иметь в виду, что в последние годы наметилось достаточно большое разнообразие устройств индикации, используемых в бортовых РЛС. В частности, находят применение индикаторы на ЭЛТ с послесвечением ("Гроза"), индикаторы с накопительными ЭЛТ ("Градиент", "Гроза-86"), индикаторы на ЭЛТ телевизионного типа ("Контур-10"), индикаторы на цветных ЭЛТ (также с телевизионной разверткой). Одной из наиболее важных проблем является обеспечение необходимой яркости изображения в широком диапазоне изменений фоновой освещенности в кабине ВС. Необходимо разобраться в особенностях раз-

личных типов индикаторных устройств, преимуществах и недостатках каждого из них. Индикаторы телевизионного типа находят преимущественное применение в цифровых МНРЛС. В случае применения цветных индикаторов появляется возможность использования цветового кодирования вместо яркостного (например, опасные зоны отображаются красным цветом).

Следует уяснить, что в любом индикаторе МНРЛС отметки от всех целей в пределах дальности действия отображаются в полярной системе координат, которая наиболее удобна для пилота. Однако, если в индикаторах с большим послесвечением электронные луч, двигаясь по экрану, как бы воспроизводит в том же темпе движение зондирующего импульса в плоскости обзора (радиально-секторная развертка), то в индикаторах телевизионного типа данные о дальности, азимуте, отражаемости цели и т. п., снимаемые с выхода приемопередатчика, запоминаются в цифровом запоминавшем устройстве, (памяти) индикатора. Считывание из памяти этих данных осуществляется с гораздо большей скоростью (примерно в 100 раз быстрее). При этом последовательность адресов считывания выбирается такой, чтобы на экране воспроизводилась исходная "Картина" в полярных координатах. Для обработки большого объема радиолокационной информации в таких индикаторах находят применение 16-разрядные микропроцессоры.

Необходимо детально изучить методы формирования радиально-секторной развертки, используемые в РЛС "Гроза", "Гроза-М". Рассмотреть устройство и принцип действия СКВТ, схем генераторов развертки и фиксации развертки.

#### 4.18. Синхронизаторы бортовых радиолокаторов

Назначение синхронизаторов. Внешняя и внутренняя синхронизация. Методы формирования масштабных меток дальности. Особенности построения синхронизаторов типовых РЛС "Гроза", "Контур", "Градиент".

Литература: [Осн.2, Доп. 4].

Схемы синхронизации всегда играли большую роль в радиолокационных устройствах. Традиционное назначение синхронизаторов - выработка последовательности запускающих импульсов с частотой равной частоте повторения зондирующих импульсов РЛС, главным образом для согласования момента времени излучения зондирующего импульса с моментом времени запуска развертки. Кроме того, синхронизатор вырабатывает масштабные импульсы, служащие для получения на экране индикатора меток дальности, и импульсы подсвета. Обычные проблемы, характерные для схем синхронизации, связаны с обеспечением достаточной стабильности частоты повторения импульсов (при запуске модулятора импульсом от синхронизатора) и с обеспечением совпадения начала развертки с меткой нулевой дальности (при запуске синхронизатора старт-импульсом от модулятора). Они давно нашли вполне удовлетворительные решения в различных схемах синхронизаций:

- при помощи кварцевого автогенератора;
- с использованием ультразвуковой линии задержки;
- с синхронизацией от бортсети ВС.

Необходимо познакомиться с построением узлов синхронизации аналоговых РЛС "Гроза". В РЛС с накопительными ЭЛТ в качестве индикаторов синхронизатор вырабатывает также импульсы стирания изображения на экране

В случае использования цифровой обработки сигналов и цифрового управления в МНРЛС функции синхронизатора значительно расширяются и он обычно "вырастает" в блок управления, который вырабатывает, целую серию различных тактовых и пусковых импульсных последовательностей, обеспечивающих согласованную во времени работу всех узлов системы. Блоки управления обеспечивают тактовыми сигналами схемы АЦП и ЦАП, узлы адресации по дальности к азимуту при записи и считывании данных, управления приводом антенны, синхронизируют логику обработки радиолокационной информации, строчную и фазовую развертки индикатора, схемы автоконтроля и т.д.

#### 4.19. Основные характеристики и схемное построение самолетных радиолокационных ответчиков

Основные достоинства систем с активным ответом. Их роль в управлении воздушным движением и в обеспечении безопасности полетов. Основные требования к самолетным ответчикам. Обобщенная структурная схема системы "Наземный запросчик - самолетный ответчик". Обобщенная функциональная схема самолетного ответчика. Схемотехнические особенности функциональных узлов типовых самолетных ответчиков СОМ-64, СО-70, СО-72М и режимов их работы. Контрольная аппаратура самолетных ответчиков КАСО, ее назначение и принцип построения.

Литература: [Осн.2, Доп. 4].

При изучении раздела, посвященного системам активной радиолокации, следует обратить внимание на применение метода активной радиолокации для решения различных задач и преимущества этого метода по сравнению с пассивной радиолокацией. Особое внимание следует уделить роли систем активной радиолокации, и в частности, вторичной радиолокации в управлении воздушным движением.

Изучение системы вторичной радиолокации для УВД и самолетных ответчиков следует начинать с изучения стандартов и требований, предъявляемых к работе ответчиков, а также к работе систем вторичной локации в целом. В этом разделе следует обратить внимание на структуру и особенности кодов, применяемых для кодирования информации в различных режимах, на структуру и особенности информационных сигналов самолетных ответчиков. Особое внимание следует уделить вопросам борьбы с боковыми лепестками диаграммы направленности антенны запросчика.

При изучении обобщенной структуры схемы системы вторичной радиолокации следует обратить внимание, на методы отображения различной информации на экране индикатора, методы представления цифровой и графической информации диспетчеру.

Приступая к изучению раздела, посвященного принципам и методам построения схем ответчиков, схемотехническим особенностям

функциональных узлов ответчиков, необходимо тщательно изучить структуру информационных сигналов в различных режимах, методы преобразования кодов и формирования информационных сигналов.

Учитывая специфику изучаемого материала, связанную с передачей информации в цифровом виде, особое внимание следует уделить изучению элементов цифровых устройств импульсной и вычислительной техники.

В самолетных ответчиках подлежит передаче на земле дополнительная информация, представляющая собой номер борта (рейса), высоту, скорость, запас топлива. В связи с этим одним из важных вопросов при изучении темы является вопрос преобразования и ввода информации, выбор алгоритма преобразования высоты в код и построения устройств и схем преобразования. При изучении электронных схем преобразования информации, в частности, высоты в код, следует предварительно ознакомиться с принципами построения аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразований. Изучение раздела следует завершить ознакомлением с конструкцией самолетных ответчиков, элементной базой, особенностями установки аппаратуры, и в частности, элементов антенно-фидерной системы на борту самолета, а также изучением контрольной аппаратуры самолетных ответчиков, ее назначения и принципа построения.

#### 4. 20. Основные характеристики и схемное построение радиовысотомеров

Основные характеристики РВ-5, состав и размещение на самолете. Структурная схема РВ-5. Эпюры напряжений и спектры сигналов. Влияние параметров сигнала и схемы на характеристики РВ. Функциональная схема РВ-5. Основные характеристики элементов. Элементы принципиальной схемы блока БИ-5. Органы регулировки. Принцип контроля с помощью КИА. Основные характеристики А-031, А-037. Состав и размещения на самолете. Структурная схема А-031, А-037. Основные характеристики блоков. Особенности встроенного контроля и контроля готовности РВ различных типов. Сравнительный анализ РВ.

Литература: [Осн.3, Доп. 4].



Радиовысотомер РВ-5 является РНС с частотным методом определения навигационного параметра - высоты.

На примере треугольного закона частотной модуляции необходимо разобраться со связью времени запаздывания отраженного сигнала и разностной частоты на выходе балансного детектора радиовысотомера. Максимальное запаздывание, не приводящее к неоднозначности отсчета, равно половине периода модуляции. Надо проанализировать, почему измеряемые в типовом высотомере запаздывания существенно меньше максимально возможного значения.

Следует изучить математический аппарат теории радиовысотометрии. Надо разобраться в понятии критической высоты, установить связь между растущими точностями радиовысотомеров и переходом в более высокочастотный диапазон рабочих частот.

Практические примеры основной методической ошибки радиовысотомера дают меньшее ее значение, чем расчетное. Важно разобраться с причиной этого явления. Следует изучить схемы радиовысотомеров повышенной точности. Необходимо обратить внимание на метод использования двухчастотной модуляции в РВ-5.

Для стабилизации градуированной характеристики в РВ-5 используется канал автоподстройки постоянной радиовысотомера. Необходимо изучить принцип его работы.

В РВ-5 имеется схема контроля работоспособности, вырабатывающая сигнал исправности РВ. По сигналу неисправности включается схема поиска сигнала, связанная с переключаемыми фильтрами. Необходимо изучить алгоритмы переключения фильтров при поиске сигнала и в штатном режиме при текущем измерении высоты.

Кроме схемы РВ, с измерением разностной частоты типа РВ-5 необходимо изучить принцип построения следящего РВ, где разностная частота фиксируется за счет изменения параметров ЧМ сигнала (схема РВ типа А-037).

#### 4.21. Основные характеристики и схемное построение доплеровских измерителей скорости

Назначение и принципы построения ДИСС. Типы ДИСС и их классификация по виду модуляции сигнала и принципам обработки сигналов. Основные характеристики ДИСС-013, состав и размещение на самолете. Режим работы и структурная схема ДИСС-013. Основные характеристики блоков. Эпюры напряжений и спектры сигналов. Влияние параметров сигнала и схемы их характеристик ДИСС. Функциональная схема ДИСС-013. Основные характеристики элементов. Принцип построения устройства слежения. Особенности принципиальной схемы. Органы регулировки. Режим встроенного контроля. Особенности контроля функционирования ДИСС-013. Структурная схема ДИСС-016. Принципы построения дискретного вычислителя ДИСС.

Литература: [Осн.3, Доп. 4].

Для определения путевой скорости и угла сноса используется доплеровский измеритель. Доплеровская частота определяется двумя параметрами вектора путевой скорости - модулем и углом. Поэтому для неподвижной антенны необходима информация о доплеровских сдвигах частоты в сигналах двух различных лучей. Это позволяет однозначно по системе из двух уравнений найти две неизвестные величины - путевую скорость и угол сноса. Следует изучить многолучевые доплеровские измерители, разобраться в назначении дополнительных лучей (ДИСС-013 –трехлучевой ДИСС).

Над водной поверхностью спектр доплеровских частот даже при симметричной форме диаграммы направленности антенны (луча) становится несимметричным. Возникает ошибка, которая устраняется (частично) при переходе на режим работы ДИСС «Море». Необходимо изучить производимые при этом переключения в схеме ДИСС-013.

ДИСС-013 - измеритель с ЧМ сигналом. Периодичность закона модуляции приводит к энергетическим нулям доплеровского сигнала на, так называемых, слепых высотах. В ДИСС-013 с эффектом слепых высот борются путем применения схемы возбуждения частоты. Соответствующее схемное построение передающего тракта необходимо изучить.

ДИСС работает со слабым отраженным сигналом, особенно над морем. Здесь сигнал отражается по закону, близкому к зеркальному, что при угле наклона луча  $60-70^\circ$ ) дает малый обратный сигнал. В ДИСС-013 используется прием с узкополосной схемой фильтрации, следящей за доплеровской частотой. Данную часть схемы - устройство слежения - необходимо детально изучить.

Кроме ДИСС, где лучи коммутируются (ДИСС-013), возможно построение схемы многоканальной, без коммутации. Необходимо ознакомиться с реализацией данного принципа в ДИСС-016.

#### 4.22. Основные характеристики и схемное построение автоматических радиоконпасов

Назначение и принципы построения АРК. Типы АРК и их классификация по методам определения угла и принципам обработки сигналов. Основные характеристики АРК-15М, состав и размещение на самолете. Режим работы и структурная схема АРК-15М. Основные характеристики блоков. Эпюры напряжений и спектры сигналов. Влияние параметров сигналов и схемы на характеристики АРК. Функциональная схема АРК-15М. Основные характеристики элементов. Принцип построения блока сетки частот. Особенности принципиальной схемы двично-десятичного делителя частоты. Органы регулировки АРК. Контроль функционирования АРК-15М. Принцип контроля с помощью КИА типа ИРК-3. Особенности построения перспективного АРК типа АРК-22. Режим встроенного контроля.

Литература: [Осн.3, Доп. 4].

АРК является измерителем курсового угла радиостанции (КУР). В основе построения АРК лежит использование направленной рамочной антенны. Её диаграмма направленности связывает амплитуду и фазу сигнала с направлением на радиостанцию средневолнового диапазона радиоволн. ДНА рамки имеет два минимума, что позволяет реализовать амплитудный метод радионавигационных измерений (метод минимума). Так как минимумов ДНА два, то для устранения неоднозначности измерений используется дополнительная антенна с круговой ДНА.

АРК различных типов отличаются конструктивно и методами обработки сигнала. Если в АРК-11 рамочная антенна при пеленговании вращалась, то в АРК-15М используется гониометрическая антенная система. При изучении АРК-15М необходимо разобраться с работой гониометра и методом получения информации при неподвижном блоке рамочных антенн. В приемной части АРК-15М применяется гетеродин на основе синтезатора частот. Необходимо изучить работу его измерительного и исполнительного каналов.

АРК-15М является следящей системой. Сигнал о цепи обратной связи формируется амплитудными методами. В АРК-22 принцип формирования данного сигнала фазовый. Перспективный АРК-25 двухканальный и не является следящим. Отсутствие схемы отработки повышает его надежность.

#### 4.23. Основные характеристики и схемное построение бортовой аппаратуры инструментальной системы посадки

Назначение и принципы построения курсового, глиссадного и маркерного каналов. Типы аппаратуры посадки и их классификация по нормам ИКАО. Основные характеристики аппаратуры КУРС МП-2, состав и размещение на самолете. Режимы работы и схемное построение комплекса аппаратуры КУРС МП-2. Структурная схема аппаратуры в составе РЭО самолета ТУ-154. Принципы резервирования и выработки сигналов готовности. Эпюры напряжений и спектры сигналов. Функциональные схемы приемников КРП-200П, ГРП-20ПМ и блока УН-2П. Основные характеристики элементов. Органы регулировки. Функциональные схемы приемника МРП-3ПМ и блока БСГ, особенности аппаратуры ОСЬ-1. Режим встроенного контроля. Принцип контроля с помощью КИА. Структурная схема аппаратуры КУРС МП-70. Особенности выработки сигнала готовности. Режим встроенного контроля. Принцип построения перспективной аппаратуры микроволновой системы посадки.

Литература: [Осн.3, Доп. 4].

Аппаратура КУРС МП-2 предназначена для посадки по II категории ИКАО и навигации по азимутальным радиомаякам VOK. Необходимо изучить принципы задания линии курса в режимах СП-50 (метод минимума) и ILS (метод сравнения). Методы задания как линии курса, так и линии глиссады амплитудные. В режиме СП-50 информационным параметром является коэффициент глубины модуляции, связанный с пространственным положением самолета, а в режиме ИЛС - разность глубин модуляции сигналов двух ДНА.

При изучении радиоприемников необходимо разобраться с методом задания сетки частот. Особого внимания требует изучение блока УН-2П, где происходит обработка сигналов курсового посадочного канала и навигационного канала VOR с фазовым методом определения азимута.

Для посадки по третьей категории ИКАО используется аппаратура КУРС МП-70. Необходимо изучить её схемное построение, обеспечивающее высокую надежность. Следует также изучить принцип встроенного контроля аппаратуры.

Микроволновая система посадки работает в сантиметровом диапазоне радиоволн. Необходимо изучить принцип реализации в ней временного метода радионавигации.

#### 4.24. Основные характеристики и схемное построение бортовой аппаратуры радиотехнической системы ближней навигации

Назначение и принципы построения дальномерного и азимутального каналов РСБН. Типы РСБН и их классификация по принципам обработки сигналов. Основные характеристики аппаратуры РСБН-2с, РСБН-7с, состав и размещение на самолете. Режим работы и схемное построение комплекса аппаратуры РСБН-2С, РСБН-7С. Структурная схема РСБН-2с, РСБН-7с. Принцип реализации всенаправленного приема. Эпюры напряжений и структура кодов. Функциональные схемы СЗД-П и АДПК-1. Основные характеристики элементов. Органы регулировки. Структурная схема моноблока БИО. Функциональные схемы блоков измерения азимута и дальности. Временные диаграммы сигнала

лов. Встроенный контроль. Особенности работы блоков измерения азимута и дальности в аппаратуре РСБН-2са. Аппаратура РСБН для МВЛ.

Литература: [Осн.3, Доп. 4].

Радиотехническая система ближней навигации типа РСБН является угломерно-дальномерной. Дальномерный канал построен по принципу временной РНС.

Работа временных (импульсных) радионавигационных средств основана на использовании зависимости между временем распространения электромагнитного поля и навигационной координатой. Активные системы с маяками (ответчиками) позволяют с высокой помехозащищенностью определять дальность. Надо изучить прямые и компенсационные методы измерения временных интервалов.

В дальномерных системах для самолетовождения осуществляется кодирование сигналов, временная селекция и сопровождение ответных сигналов по дальности. Следует разобраться в назначении основных элементов дальномерной радиотехнической системы ближней навигации, изучить методы оценки пропускной способности и ограничения загрузки ответчика.

В аппаратуре РСБН-7с временной интервал, соответствующий дальности, измеряется цифровой счетной схемой. Необходимо изучить принцип работы схемы в режимах поиска и слежения.

Выходная информация о дальности в блоке обработки комплексировается с автономными бортовыми датчиками. Это обеспечивает требуемую точность коррекции бортового навигационно-пилотажного комплекса. Следует изучить работу схемы в различных режимах.

Азимутальный канал РСБН включает ряд передатчиков наземного комплекса, бортовое приемное устройство и измеритель азимута. Необходимо изучить виды и параметры сигналов, принцип привязки схемы измерения к Северу (Югу).

Комплекс аппаратуры РСБН имеет канал наземной индикации воздушной обстановки. Необходимо изучить работу данного канала.

4.25. Основные характеристики и схемное построение бортовой аппаратуры, работающей с радиомаяками международных трасс.

Назначение и принцип построения самолетного дальномера СД-67. Структурная схема. Эпюры напряжений и структура кодов. Функциональная схема СД-67. Характеристики элементов схемы. Временная диаграмма работы блока измерения. Структурная схема СД-75. Спутниковые РНС.

Литература: [Осн.3, Доп. 4].

Система ДМЕ - аналог дальномерного канала РСБН. Кроме радиомаяка ЭМЕ используется бортовая аппаратура - самолетные дальномеры СД-67, СД-75. Форма огибающей сигнала колоколообразная, что сужает его спектр по сравнению с прямоугольным импульсом РСБН. Число частотно-кодовых каналов о системе ДМЕ больше (252 против 88 в РСБН). Имеются особенности в формировании сигнала радиомаяком при различном числе запросчиков. В общем случае кроме регулярной части (ответы и запросы) в нем имеется нерегулярная часть - хаотическая импульсная последовательность (ХИП). Принцип выделения сигнала-ответа в СД на фоне ХИП необходимо изучить.

Импульсными разностно-дальномерными радионавигационными системами называются системы, с помощью которых измеряется разность времени распространения радиоволн от двух фиксированных точек на земле до самолета. Необходимо изучить характер и оцифровку линий положения импульсной разностно-дальномерной системы, знать определения линейной единицы системы.

При рациональном выборе диапазона волн импульсные разностно-дальномерные системы имеют большую дальность действия. Возможны системы с независимой и синхронизированной работой баз. Взаимная ориентировка баз может быть различной. Надо изучить погрешности, возникающие на различных направлениях относительно базы. Следует рассмотреть временное положение импульсов на развертке индикатора и схемное построение аппаратуры РСДН (радиотехнической системы дальней навигация). Перспективный вид РНС с большой дальностью действия - спутниковая.

## 5. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Для оценки степени самостоятельного усвоения проработанного материала студент должен ответить для себя на все контрольные вопросы, приведенные ниже.

С целью наиболее полной подготовки к зачету и проверки готовности студентов необходимо выполнить и представить в установленный срок контрольную работу.

В содержание контрольной работы входят:

- подробный письменный ответ на вопросы из приведенного перечня контрольных вопросов заданий № 1, 2, 3.

Выбор соответствующего варианта задания осуществляется по сумме двух последних цифр шифра зачетной книжки студента. Например, если две последние цифры шифра зачетной книжки студента заканчиваются на «01» или «10», то он отвечает на первые вопросы всех заданий. Если две последние цифры зачетной книжки «99» - восемнадцатые вопросы всех заданий. В случае окончания последних цифр зачетной книжки «00» - девятнадцатые вопросы всех заданий. Материал проработки заданий № 1,2,3 должен содержать: рисунок, чертеж или функциональную схему, краткое описание принципа действия (назначение блоков, эпюры напряжений в характерных точках). Показать достоинства и недостатки. Охарактеризовать область применения.

Объем ответа на один вопрос не должен превышать 3-4 страницы (на странице 1000 знаков).

### ЗАДАНИЕ № 1

1. Проанализировать особенности работы приемного тракта радиостанции «Баклан» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

2. Проанализировать особенности работы синтезатора частот радиостанции «Баклан» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.



3. Проанализировать особенности работы передающего тракта радиостанции «Баклан» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

4. Проанализировать особенности работы передающего тракта радиостанции «Бриз» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

5. Проанализировать особенности работы приемного тракта радиостанции «Бриз» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

6. Проанализировать особенности работы синтезатора частот радиостанции «Бриз» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

7. Проанализировать особенности работы датчика опорных частот радиостанции «Ядро-1» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

8. Проанализировать особенности работы приемного тракта радиостанции «Ядро-1» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

9. Проанализировать особенности работы передающего тракта радиостанции «Ядро-1» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

10. Проанализировать особенности работы датчика опорных частот радиостанции «Микрон» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

11. Проанализировать особенности работы передающего тракта радиостанции «Микрон» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

12. Проанализировать особенности работы приемного тракта радиостанции «Микрон» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

13. Проанализировать особенности работы блока записи магнитофона «Марс - НМ» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

14. Проанализировать особенности работы блока воспроизведения магнитофона «Марс-БМ» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

15. Проанализировать особенности работы блока воспроизведения магнитофона «Союз» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

16. Проанализировать особенности работы блока воспроизведения магнитофона «Арфа - БМ» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

17. Проанализировать особенности работы блока записи магнитофона «Марс - НМ» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

18. Проанализировать особенности работы блока автоматки магнитофона «Арфа-МБ» по функциональной схеме и привести эпюры напряжений в характерных точках.

19. Проанализировать особенности работы и построения функциональной схемы аппаратуры СГС и привести эпюры напряжений в характерных точках.

## ЗАДАНИЕ №2

1. Привести обобщенную схему и пояснить принцип действия МНРЛС. Дать временные диаграммы, поясняющие принцип действия радиолокатора.

2. Пояснить назначение и принцип формирования режимов работы МНРЛС «Метео», «Земля», «Контур», «Снос».

3. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия системы АПЧ МНРЛС «Гроза».

4. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия системы ВАРУ МНРЛС «Гроза».

5. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия передающего канала МНРЛС «Гроза».

6. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия приемного канала МНРЛС «Гроза».

7. Проанализировать особенности работы по функциональной схе-

ме и пояснить принцип действия канала синхронизации МНРЛС «Гроза».

8. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия канала развертки МНРЛС «Гроза».

9. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия схемы формирования меток МНРЛС «Гроза».

10. Пояснить назначение и принцип формирования диаграммы направленности антенны «веерный луч - игольчатый луч» в МНРЛС «Гроза».

11. Пояснить назначение и принцип действия циркулятора в антенных переключателях БРЛС «Гроза».

12. Пояснить принцип получения информации об азимутальном положении антенны МНРЛС и способ его передачи на индикатор.

13. Привести обобщенную схему усилителя промежуточной частоты МНРЛС «Гроза» и показать особенность его построения.

14. Пояснить назначение и принцип формирования характеристик видеоусилителя в режимах «Земля», «Метео» и «Контур».

15. Пояснить назначение и принцип действия систем вторичной радиолокации в сфере управления воздушным движением.

16. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме самолетного ответчика СО-63 и пояснить принцип действия приемо-передающего тракта.

17. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме самолетного ответчика СО-63 и пояснить принцип действия шифратора в режиме УВД.

18. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме самолетного ответчика СО-63 и пояснить принцип действия шифратора в режиме RBS.

19. Перечислите состав, функции и основные характеристики оборудования радиолокационного комплекса, входящего в автоматизированную систему УВД.

## ЗАДАНИЕ №3

1. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия радиокompаса АРК-15, работающего по методу минимума глубины амплитудной модуляции.

2. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме радиокompаса АРК-15 и пояснить принцип работы гониометра, электрической компенсации радиодевиации и работу балансного модулятора.

3. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия радиокompаса АРК-22, работающего по методу минимума глубины амплитудной модуляции.

4. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия системы посадки КУРС МП-2, работающей в режиме посадки СП-50.

5. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия системы посадки КУРС МП-2, работающей в режиме посадки ILS.

6. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия системы посадки КУРС МП-2, работающей в режиме навигации VOR.

7. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия системы посадки КУРС МП-70, работающей в режиме посадки СП-50.

8. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия системы посадки КУРС МП-70, работающей в режиме посадки ILS.

9. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия системы посадки КУРС МП-70, работающей в режиме навигации VOR.

10. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме радиовысотомера РВ-5 и пояснить принцип действия канала измерения.

11. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме радиовысотомера РВ-5 и пояснить принцип действия канала под-

стройки постоянной высотомера.

12. Проанализировать особенности работы радиовысотомера типа А-037 по функциональной схеме и пояснить принцип действия передающего и приемного каналов.

13. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия доплеровского измерителя скорости и угла сноса с непрерывным излучением (ДИСС-013).

14. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия доплеровского измерителя скорости и угла сноса с непрерывным излучением (ДИСС-016).

15. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия азимутального канала аппаратуры РСБН-2С. Дать временные диаграммы работы субблока измерения азимута.

16. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия дальномерного канала аппаратуры РСБН-2С. Дать временные диаграммы работы субблока измерения дальности.

17. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия дальномерного канала аппаратуры РСБН-7С. Дать временные диаграммы работы субблока измерения дальности.

18. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия самолетного дальномера СД-67. Дать временные диаграммы работы блока измерения дальности.

19. Проанализировать особенности работы по функциональной схеме и пояснить принцип действия самолетного дальномера СД-75. Дать временные диаграммы работы блока измерения дальности.

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Общее положение.....	3
2	Литература.....	6
3	Введение.....	7
4	Содержание дисциплины.....	11
4.1	Общие сведения о бортовых радиоэлектронных системах воздушных судов.....	11
4.2	Организация авиационной связи.....	13
4.3	Организация связи в автоматизированных системах УВД.....	14
4.4	Системы связи.....	15
4.5	Каналы и линии связи.....	15
4.6	Системы связи с преобразованием дискретных сигна- лов.....	16
4.7	Системы связи для передачи непрерывных сигналов.....	18
4.8	Классификация систем связи для передачи непрерывных сигналов.....	19
4.9	Системы связи без преобразования непрерывных сигнала- лов.....	20
4.10	Системы связи с преобразованием непрерывного сигнала.....	21
4.11	Системы документирования информации.....	22
4.12	Основные характеристики и схемное построение метеона- вигационной радиолокационной станции.....	22
4.13	Особенности передающих устройств бортовых радиолока- торов.....	24
4.14	Особенности антенных устройств бортовых радиолокато- ров.....	24
4.15	Особенности приемных устройств бортовых радиолокато- ров.....	25
4.16	Особенности устройства АПЧ бортовых радиолокато- ров.....	27
4.17	Особенности индикаторов и схем развертки.....	28
4.18	Синхронизаторы бортовых радиолокаторов.....	29

4.19	Основные характеристики и схемное построение самолетных радиолокационных ответчиков.....	31
4.20	Основные характеристики и схемное построение радиовысотометров.....	32
4.21	Основные характеристики и схемное построение доплеровских измерителей скорости.....	34
4.22	Основные характеристики и схемное построение автоматических радиоконпасов.....	35
4.23	Основные характеристики и схемное построение бортовой аппаратуры инструментальной системы посадки.....	36
4.24	Основные характеристики и схемное построение бортовой аппаратуры радиотехнической системы ближней навигации.....	37
4.25	Основные характеристики и схемное построение бортовой аппаратуры, работающей с радиомаяками международных трасс.....	39
5	Контрольная работа.....	40
6	Содержание.....	46