

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

---

Кафедра технической эксплуатации  
радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта

С.Б. Стукалов

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

**Учебно-методическое пособие**  
по проведению практических занятий

*для студентов  
направления 25.05.03  
очной формы обучения*

Москва  
ИД Академии Жуковского  
2021

УДК 621.391.8:621.396

ББК 0561.5

С88

Рецензент:

*Костенков В.А.* – канд. техн. наук

**Стукалов С.Б.**

С88

Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем [Текст] : учебно-методическое пособие по проведению практических занятий / С.Б. Стукалов. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 32 с.

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с программой по курсу дисциплины «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем» и требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования для студентов направления 25.05.03 очной формы обучения.

Содержание учебно-методического пособия составляют краткие теоретические положения курса дисциплины «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем» и практические задания для студентов. Материал составлен с учетом характеристик и параметров радиоэлектронных средств, применяемых в гражданской авиации. Для наиболее важных разделов курса приведены вопросы для самопроверки, а также составлены контрольные задания.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 18.06.2021 г. и методического совета 18.06.2021 г.

**УДК 621.391.8:621.396**  
**ББК 0561.5**

*В авторской редакции*

Подписано в печать 27.10.2021 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 2 Усл. печ. л. 1,86

Заказ № 835/1004-УМП01 Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского  
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68

E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический  
университет гражданской авиации, 2021

## Введение

Решение задач гражданской авиации (ГА) в настоящее время невозможно осуществить без широкого применения радиоэлектронных систем (РЭС). Это приводит к перенасыщению радиочастотного пространства электромагнитными излучениями во всем диапазоне частот. Расширение сферы применения РЭС ГА, рост их мощности и числа, повышение чувствительности радиоприемных устройств, а также воздействие на РЭС многочисленных источников промышленных радиопомех - основные причины, требующие повышения эффективности использования частотного спектра и обеспечения совместной работы РЭС в условиях ограниченных пространственно-временных и частотных ресурсов.

При эксплуатации радиоэлектронных систем гражданской авиации возникают задачи оценки электромагнитной обстановки (ЭМО) радиоэлектронных средств и систем ГА, определения разнообразных характеристик электромагнитной совместимости (ЭМС). Требуется отыскивать пути обеспечения совместного функционирования РЭС с требуемым качеством в условиях ограниченного частотного, временного и территориального ресурсов.

Задачей теории ЭМС является:

установление закономерностей по оптимальному использованию искусственно создаваемых радиочастотных полей для передачи и (или) приема или извлечения информации;

установление закономерностей нежелательного взаимодействия одновременно функционирующих РЭС;

выявление путей и разработка критериев и методов обеспечения наибольшей эффективности использования и вместимости радиочастотного пространства, в том числе совершенствования эксплуатационно-технических характеристик РЭС, влияющих на ЭМС РЭС;

синтез РЭС и РТС с заданными характеристиками использования радиочастотного спектра (РЧС), т.е. характеристиками, включающими учет внеполосных и побочных излучений и побочных каналов приема, а также диаграмм направленности антенн. Синтез радиосистем включает также вопросы организации функционирования как РЭС, так и радиоэлектронных комплексов (РЭК).

Знание положений дисциплины «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем» позволит:

производить анализ ЭМО в районе аэропорта и на борту воздушного судна;

оценивать уровень ЭМО с учетом частотного и пространственного раз-  
носа РЭО;

определять пути обеспечения ЭМС РЭС ГА в конкретных эксплуатационных условиях;

моделировать процессы функционирования радиоэлектронного оборудования (РЭО) в сложной ЭМО;

давать квалифицированные консультации по вопросам ЭМС летному и техническому составу.

Студенты, приступающие к изучению дисциплины, должны уметь обращаться с контрольно-измерительной аппаратурой, знать правила ее настройки и регулировки, работать с принципиальными схемами, владеть навыками работы с современной вычислительной техникой.

Дисциплина «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем» направлена на выработку у специалистов навыков и знаний, позволяющих успешно решать круг задач, возникающих при анализе конкретной ЭМО и выработке мер по существенному улучшению характеристик ЭМС различных РЭС в реальных условиях эксплуатации. Для качественного решения задач ЭМС целесообразно применение современных математических методов и средств вычислительной техники.

Для самостоятельного усвоения проработанного материала студенты должны ответить на все вопросы самопроверки учебного пособия.

## 1. Особенности РЭС, используемых в гражданской авиации

Гражданская авиация является одной из основных частей транспортной системы общества, от четкой и непрерывной работы которой зависит обеспечение потребностей людей и народного хозяйства в воздушных перевозках. Успешное решение задач, поставленных перед авиацией, обеспечивается оснащением её новыми типами самолетов и вертолетов, новыми бортовыми комплексами пилотажно-навигационного (КСПНО) оборудования, наземными автоматизированными системами управления воздушным движением (АС УВД) [1,5]. Среди этих систем важное место принадлежит наземному и бортовому радиоэлектронному оборудованию - радиолокационным, радионавигационным и радиосвязным системам.

Современное РЭО ГА - сложные комплексы радиотехнических устройств, являющихся основными информационно-измерительными конструкциями в наземных системах (рис.1) и бортовых системах (рис.2) управления полетом.



Рис.1.

На различных этапах полет ВС обеспечивается работой более 20 наземных и бортовых радиоэлектронных средств, работающих зачастую одновременно.



Рис.2

Степень снижения достоверности и своевременности представления информации со стороны РЭС экипажам ВС и (или) диспетчерскому составу службы движения может привести к снижению уровня безопасности полетов. Значительное количество предпосылок к летным происшествиям вызвано сложной электромагнитной обстановке ЭМО, в которой функционирует РЭО ГА (рис.3), а также неправильной эксплуатацией РЭО в сложной ЭМО.



Рис.3

Тенденция к росту числа РЭС на борту ВС и на земле, переход на современную элементную базу позволяют сделать вывод об актуальности решения проблем ЭМС.

## **2. Основные понятия и характеристики ЭМС РЭС. Термины и определения**

Под *электромагнитной совместимостью радиоэлектронных средств* понимают способность РЭС одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них не-

преднамеренных радиопомех и не создавать недопустимых радиопомех другим электронным средствам.

К радиопомехам (электромагнитным помехам) относятся любые электромагнитные возмущения в цепях РЭС и окружающем пространстве, вызывающие нежелательную реакцию оборудования, сказывающуюся в различных РЭС неадекватно, но приводящую в конечном итоге к ухудшению эксплуатационно-тактических характеристик систем и устройств (рис.4).

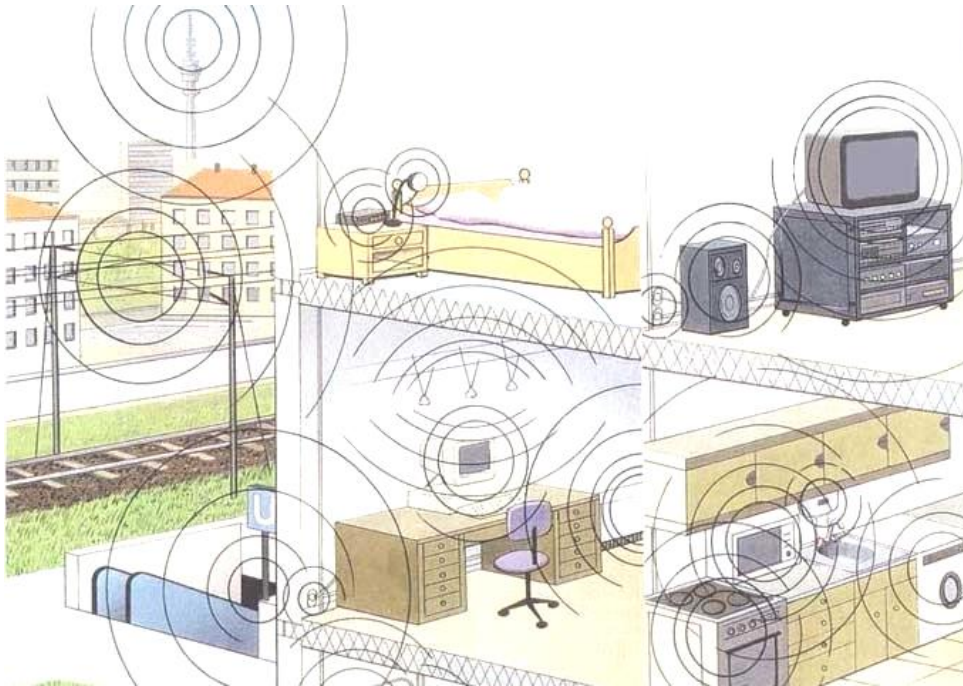


Рис.4.

Теория электромагнитной совместимости РЭС занимается в основном непреднамеренными электромагнитными помехами (НЭМП), которые относятся к классу радиопомех искусственного происхождения (рис.5) [1].

Радиопомехи лежат в полосе частот от единиц герц до тысяч гигагерц. К НЭМП можно отнести внутренние шумы устройств и приборов, объективно присущие всем радиотехническим цепям.

Источниками НЭМП являются радиопередающие устройства различного рода РЭС. Их параметры характеризуются минимальной полосой частот излучения для данного класса сообщений, обеспечивающих передачу сигналов с требуемыми скоростью и качеством, которую принято называть необходимой полосой радиочастот.

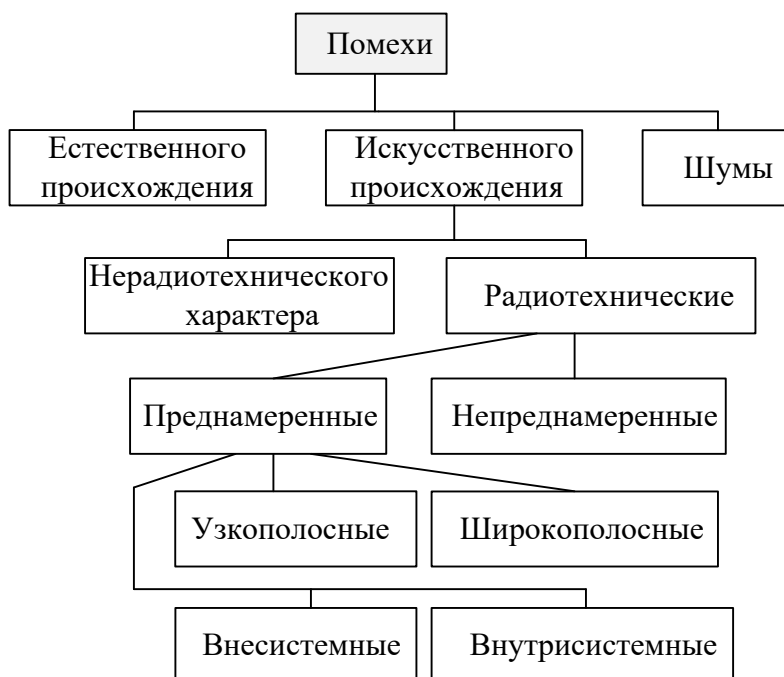


Рис. 5.

Излучения в пределах необходимой полосы частот называются основными, а вне необходимой полосы - нежелательными. Последние подразделяются на побочные, внеполосные и шумовые. Свойство радиоприемника реагировать на электромагнитные помехи, воздействующие через антенну или помимо ее, в том числе через корпус, экран, по цепям питания, характеризуются восприимчивостью. Для описания воздействия помех через антенный вход пользуются понятием «канал приема». Основным каналом приема называется полоса частот, находящихся в полосе пропускания приемника, предназначенная для приема полезных сигналов. Побочным каналом приема радиоприемника называется канал, находящихся вне полосы частот основного канала приема. К побочным каналам относятся каналы приема на промежуточной частоте, комбинационные каналы приема, зеркальный канал и каналы на субгармониках частоты настройки.

Наиболее вероятное воздействие РЭС друг на друга, с учетом снижения уровня побочного радиоизлучения на гармониках и субгармониках, приема помехового сигнала по побочным каналам и с учетом направленных свойств излучения, зависящих от характеристик ДНА, проводится на гармониках и субгармониках, имеющих номер не более пяти.

При рассмотрении возможных помех в аэропортах пользуются статистически усредненной структурой РЭО и проводят сопоставительный анализ каналов излучения и приема. Оценка уровня межсистемных помех производится как для НЭМП, сосредоточенных во времени, так и для НЭМП, сосредоточенных по спектру. При этом рассматриваются узкополосные и широкополосные случайные процессы. Известно, что помехи, сосредоточенные по



спектру, представляет собой ансамбль узкополосных сигналов, излучаемых различными РЭС. Задача оценки их уровня сводится к определению удельной энергии сосредоточенной помехи.

К помехам, сосредоточенным во времени, можно отнести импульсные и флюктуационные помехи. В зависимости от частоты следования импульсов помеха может рассматриваться как импульсная - при воздействии на широкополосный приемный тракт, переходные процессы в котором не накладываются друг на друга, и как флюктуационная - при воздействии на узкополосный приемный тракт, когда переходные процессы от каждого последующего импульса, накладываясь друг на друга, образуют квазигармонический случайный процесс. Вероятность превышения помехой некоторого заданного уровня оценивается распределением Вейбулла.

Кроме этого, при учете влияния межсистемных помех в реальных условиях эксплуатации имеется возможность определить факт воздействия помехи, т.е. произвести первичный анализ и оценку ЭМО, по конечному результату воздействия НЭМП на конкретное РЭО.

Результаты воздействия НЭМП различного вида могут проявляться в виде «сетки» на экране индикаторного устройства, секторных заставок, мерцаний, ложных отметок, сплошных заставок, помех в виде «снега» в динамиках и прочих нежелательных явлений (рис.6).

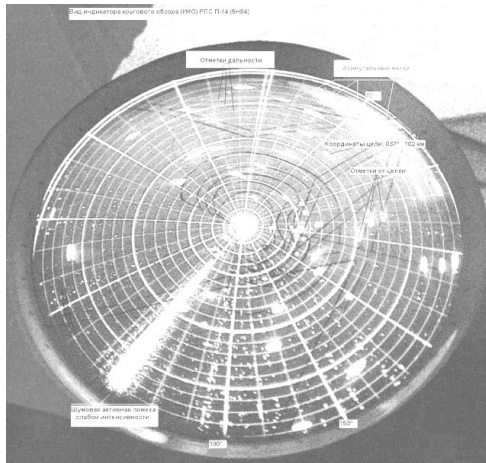


Рис.6.

### Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение электромагнитной совместимости РЭС.
2. Дайте характеристику источников НЭМП.
3. Поясните механизм возникновения паразитных излучений.
4. Поясните, как возникают внутренние шумы радиоприемников.
5. Поясните природу возникновения внешних помех.

### Задачи:

1. Классифицируйте следующие помехи в соответствии с классификацией, приведённой в лекциях:
  - а) сигнал РЛС аэропорта для мобильной станции (МС) GSM-900; б) сигнал одной MССDMA другой МС CDMA; в) грозовой разряд приёмнику радиовещания; г) сигнал в цепи, включённой с заземлением близко к цепи рецептора.
2. Классифицируйте следующие помехи в соответствии с классификацией, приведённой в лекциях:
  - а) сигнал бортовой РЛС радиолокатору аэропорта;
  - б) сигнал МС подвижной радиосвязи для цепей аэродромных радиолокаторов средств; в) шум Галактики радиотелескопу, проводящему радиоастрономические наблюдения; г) искра контактной цепи троллейбуса для посадочных РЛС.
3. Классифицируйте следующие помехи в соответствии с классификацией, приведённой в лекциях:
  - а) обобщённый фон города для базовой станции сотовой связи стандарта GSM-1800;
  - б) сигнал многоканальной системы спутниковой связи наземной станции аэродромной многопозиционной системы наблюдения;
  - в) излучение линии электропередач для АМ-радиоприёмника КВ радиостанции воздушного судна;
  - г) гармоники сетевого напряжения синхронному детектору; д) сигнал несущей АМ-сигнала радиопередатчика частоты 100 МГц звуковому каналу телевизионного приёмника.
4. Приёмник работает на частоте настройки  $2 \cdot n$  ГГц, где  $n$  - номер рабочего места. Ширина главного лепестка диаграммы направленности антенны 1 градус в обеих плоскостях, полоса пропускания приёмника равна 1 ГГц. Определите:
  - а) яркостную температуру спокойного Солнца на частоте настройки;
  - б) шумовую температуру антенны при приёме шумов спокойного Солнца;
  - в) мощность шумов Солнца на входе приёмника.

### 3. Показатели качества функционирования РЭС ГА

Правила построения критериев оценки качества функционирования РЭС в условиях воздействия помех сводятся к определению возможного уровня изменения тактико-технических характеристик РЭС. Оценка выходных параметров РЭС подразделяется на два этапа, общим для которых является необходимость определения статистических характеристик сигналов, шумов и помех на выходе приемо-анализирующего тракта.

Первый этап называется анализом качества РЭС ГА в сложившейся или прогнозируемой ЭМО, характеризуемой уровнем НЭМП в точке приема в широкой полосе частот.

Второй этап обычно именуется этапом разработки организационно-технических рекомендаций и мероприятий по обеспечению заданного уровня функционирования РЭС, дислоцированных в общем территориальном районе, с учетом выдерживания ЭМС.

Показатели качества РЭС, по существу, являются примерами, образующими функцию полезности, представляющую собой многопараметрический вектор-функционал состояния РЭС. Функция полезности монотонно зависит от вероятности выполнения поставленных перед РЭС ГА задач в условиях воздействия помех.

Для аналоговых и цифровых систем предложено использовать критерий устойчивости качественных показателей, определяемый в первом случае как изменение отношения сигнал/помеха на выходе и входе приемника, а во втором как изменение вероятности ошибки приема информации, представленной в виде цифрового кода.

Специальные методы анализа функционирования РЭС в условиях помех позволяют рассчитать исключительно важный показатель - критерий защитного отношения сигнал/помеха, устанавливающий максимально возможный уровень входного помехового воздействия, при котором обеспечивается заданное техническое состояние РЭС в течение всего процесса эксплуатации.

Эффективность использования радиочастотного спектра определяется с помощью критерия, учитывающего полезный результат, получаемый от анализируемых РЭС, занимавшие полосу частот и объем свободного пространства. Данные критерии позволяют существенно уменьшить размерность задачи оценки ЭМС РЭС ГА, получаемую на более ранних этапах решения.

При определении защитных отношений сигнал/(шум+помеха) необходимо исходить из заданного уровня качества функционирования анализируемых РЭС. В общем случае задача становится многоступенчатой, ибо на первом этапе перед исследователем встанет проблема оценки уровня характеристик РЭС. Тем не менее от решения этой задачи можно отказаться, если принять в качестве опорных значений тактико-технических параметров РЭС, заданные в нормативно-технической документации (нормы ИКАО, СЭВ, ГОСТ и др.).

Для количественной оценки защитных отношений необходимо иметь аналитические модели, позволяющие рассчитывать степень ухудшения (изменения) выходных характеристик РЭС, обусловленную влиянием помеховых сигналов. Наравне с традиционными методами анализа нелинейных и параметрических цепей, статистических исследований совместного прохождения смеси сигнал + помеха через приемо-анализирующие тракты РЭС, широкое распространение получили методы моделирования, реализуемые с помощью современных вычислительных средств.

При построении аналитических моделей для определения защитного отношения сигнал/(помеха+шум) учитывают характеристики тракта обработки, характер системы (аналоговая или цифровая). Расчеты строятся на определении выходного сигнала приемо-анализирующего тракта, что в конечном итоге позволяет произвести сравнительную оценку отношений сигнал/шум и сигнал/(шум+помеха) и далее определить возможный диапазон изменения параметров помехового сигнала, в котором воздействие помехи не ухудшает выходные характеристики анализируемой РЭС. Основными параметрами помехи, учитываемыми при определении защитного отношения сигнал/(шум+помеха) являются частотная расстройка и амплитуда. Амплитудные свойства НЭМП можно характеризовать распределением энергии в частотном диапазоне, т.е. функцией ковариации. Эта же характеристика отражает и частотные свойства помехи. Кроме этого, для оценки допустимого уровня помехи необходимо знать ее мощность, которая определяется путем интегрирования ее энергетического сектора и избирательностью анализируемого приемного тракта.

Знание качества функционирования линейной части приемника в условиях отсутствия НЭМП и их воздействия позволяет обосновать защитное отношение сигнал/(помеха+шум) и учесть влияние вида обработки сигналов.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Каковы этапы оценки ЭМС РЭС и в чем их основная сущность?
2. Дайте определение показателей качества РЭС ГА?
3. Постройте аналитические модели для критериев:
  - устойчивости качественных показателей;
  - защитного отношения;
  - эффективности использования спектра;
  - энергетической загрузки.
4. Поясните влияние вида обработки сигналов на характеристики ЭМС РЭС.
5. Приведите алгоритм расчета защитного отношения сигнал/(помеха+шум) в случаях приема АМ аналоговых и цифровых сигналов.
6. Как оценивается влияние НЭМП при анализе типового приемного тракта?
7. Чем определяется допустимый уровень помехового сигнала?
8. Сравните системы с когерентной и некогерентной обработкой с точки зрения обеспечения ЭМС.

### **4. Характеристики излучения радиопередающих устройств и антенно-фидерных устройств РЭС**

Для всех без исключения конструкций радиопередатчиков характерны побочные электромагнитные излучения (рис.7) и в ряде случаев являются основной причиной возникновения НЭМП радиоприемным устройствам.

## Краткие сведения из теории

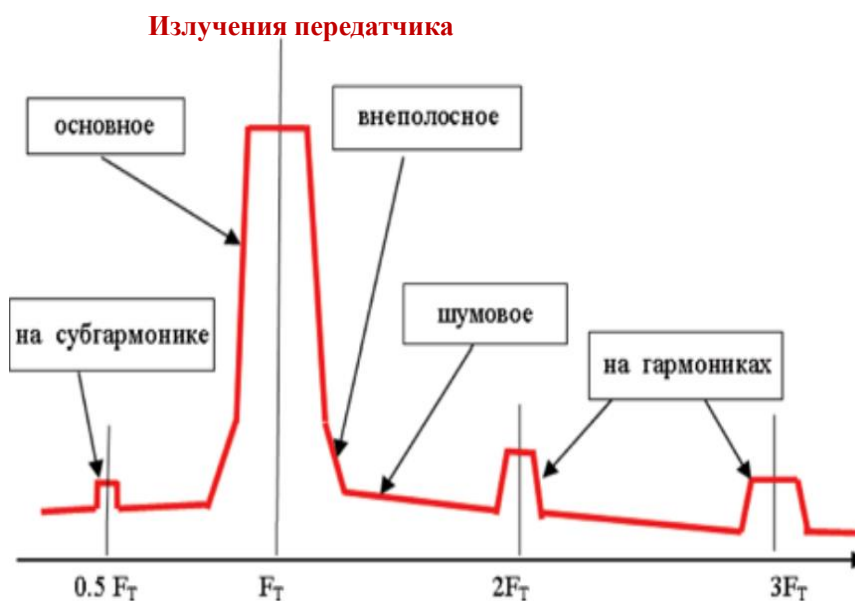


Рис.7.

Можно выделить три основных механизма возникновения колебаний на гармониках основной частоты, присущих в той или иной степени усилительным и генераторным каскадам:

возбуждение выходных резонаторов или колебательных контуров соответствующей гармоникой тока носителей заряда в электромагнитном приборе;

генерация колебаний на гармониках за счет взаимодействия в измеряющих системах электровакуумных приборов гармоники тока с электромагнитным полем соответствующей частоты;

усиление колебаний на гармониках, возникших в предшествующих каскадах радиопередающего тракта.

Принцип построения структурной схемы возбудителя, т.е. схемы образования частоты и переноса на эту частоту информационного сигнала, определяет наличие комбинационных колебаний, излучаемых радиопередатчиком. Значительная часть РЭС ГА работает в высокочастотном участке диапазона радиочастот, где между частотами гетеродина  $f_T$  и сигнала  $f_0$  выдерживается соотношение  $f_0 \leq f_T$ . Поэтому частоты  $f_T - f_0$  или  $f_T + f_0$  могут легко попасть в полосу частот усилителя мощности.

При близком расположении радиопередающих устройств (в зоне аэродрома или на борту ВС) в результате воздействия на оконечные каскады электромагнитных колебаний, наводимых на выход от соседних передатчиков, возникают интермодуляционные колебания. Возможны два механизма их возникновения:

поступление внешнего сигнала на оконечный каскад и его усиление совместно с рабочим сигналом;

изменение параметров электромагнитного прибора в оконечном каскаде из-за воздействия электромагнитного поля на частоте помехи.

Наличие в радиопередающем тракте паразитных связей определяет характер паразитных колебаний.

Шумовое радиоизлучение обусловлено шумами элементов схемы передатчика. Модели изучаемых процессов основываются на энергетическом, спектральном анализе, а также на теории нелинейных электрических цепей.

Параметры всех видов нежелательных излучений радиопередающих устройств жестко регламентируются [6].

Комбинационное излучение – это побочное излучение на частотах  $f_k$ , получающихся в результате взаимодействия на нелинейном элементе передатчика колебаний, формирующих несущую, и их гармоник.

$$f_k = |pf_1 \pm qf_2 \pm mf_3|, \quad p, q, m = 1, 2, \dots$$

Интермодуляционное излучение на частотах  $f_u$  возникает при взаимодействии близко расположенных передатчиков (рис.8), двух и более:

$$f_u = |pf_1 \pm qf_2|, \quad p, q = 1, 2, \dots$$



Рис.8.

Антенно-фидерные устройства (АФУ) являются составной частью радиопередающих и радиоприемных устройств. С помощью антенн осуществляется излучение и (или) прием радиоволн. Параметры АФУ существенно влияют на характеристики ЭМС, использование радиочастотного спектра, зачастую определяют ситуационные аспекты, учитываемые при анализе ЭМО и решении задач обеспечения ЭМС РЭС ГА. К таким параметрам относятся направленность и усиление антенн, их поляризация, связь между антеннами.

Большое число РЭС ГА различного назначения определяет и значительное число антенн (рис.9), имеющих отличающиеся диаграммы направленности (ДНА), параметры, конструкцию, частотные характеристики.



Рис.9.

При анализа влияния АФУ на ЭМС учитывают коэффициент направленного действия, коэффициент усиления антенны по направлению. С учетом ширины диаграммы направленности и поляризационных характеристик эти параметры используются для оценки мощности принимаемых сигналов.

Для обеспечения ЭМС необходимо учитывать взаимную ориентацию антенн. При оценке режимов сканирования используется геометрическая вероятность совпадения осей главных лепестков ДНА, а также геометрические вероятности ситуационных моделей, определяемых при возможном совпадении осей главных лепестков ДНА и боковых лепестков ДНА.

Уровень внутрисистемных помех в комплексе РЭС в значительной степени зависит от степени связи между передающими и приемными антеннами бортового РЭО. При большом числе антенн (20...30 и более) и малых расстояниях между ними степень связи определяется многими факторами: величиной расстройки между частотой передатчика и частотой настройки приемника, особенностями конструкций и местом размещения антенн, наличием и формой проводящих препятствий для распространения электромагнитного поля между антеннами, размещением антенны в ближней или дальней зоне распространения поля и др. В связи с этим возникает сложная задача обеспечения затухания поля между антеннами.

Важным параметром, характеризующим изменение импеданса антенны по диапазону частот гармоник, является коэффициент стоячей волны на входе приемника. При изучении данного материала необходимо обратить внимание на особенности учета типа облучателя, уровней боковых и заднего лепестков ДНА, зависимости ширины основного лепестка ДНА от частоты излучаемых

колебаний, влияния экранирующих свойств корпусов, характеристики волноводов. Эффективная излучаемая мощность равна:

$$P_{\text{эфф.изл.}} = P_{\text{подв.}} \cdot G(\theta, \varphi),$$

где  $P_{\text{подв.}}$  – подводимая к антенне мощность,  $G(\theta, \varphi)$  – коэффициент усиления антенны.

Коэффициент усиления антенны определяется его диаграммой направленности  $F(\theta, \varphi)$ , и меняется в зависимости от направления, характеризующегося углами сферической системы координат  $\theta$  и  $\varphi$ :

$$G(\theta, \varphi) = G_{\text{max}} \cdot F^2(\theta, \varphi),$$

где  $G_{\text{max}}$  – максимальный коэффициент усиления антенны.

### Вопросы для самопроверки

1. Дайте характеристику АФУ, используемых в РЭС ГА.
2. Поясните периметры АФУ, учитываемые при анализе ЭМС.
3. Приведите математические модели для описания ДНА и частотных характеристик АФУ.
4. Каким образом решается задача оценки ситуационных моделей для АФУ?
5. Что такое поляризация ДНА?
6. Пояснить от чего зависит уровень внутрисистемных помех в комплексе РЭС.
7. Пояснить механизм возникновения колебаний на гармониках основной частоты.
8. Что такое необходимая полоса частот радиоизлучения?
9. Охарактеризуйте основное излучение радиопередающих устройств. Приведите иллюстрационный материал.
10. Дайте определение побочных каналов излучения.
11. Запишите наиболее неблагоприятные комбинационные частоты, возникающие при одночастотном, многочастотном режиме работы усилителя мощности.

### Задачи:

1. Квазимонохроматический передатчик (рис.10) работает на частоте  $10 \cdot n$  МГц где  $n$  - номер рабочего места.



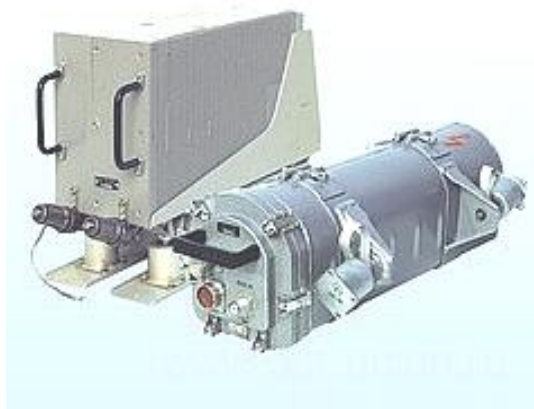


Рис.10.

Определите частоты первых четырёх гармоник и субгармоник этого передатчика. Постройте условный вид АЧС сигналов с указанием точного значения частот.

2. Ослабление мощности передатчика (рис.11) на частотах гармоник и субгармоник определяется законом  $(k!)^2$ , где  $k$  – номер гармоники (субгармоники). Определите номер гармоники (субгармоники), которую уже не надо принимать во внимание при анализе ЭМС в соответствии с критериями: учитываются компоненты, которые ослаблены не более чем на  $10 \cdot n$  дБ, где  $n$  – номер рабочего места.



Рис.11.

3. Диаграмма направленности антенны воздушного судна (рис.12) в горизонтальной плоскости круговая, а в вертикальной – описывается законом  $F(\theta) = |\sin(\theta)|$ .



Рис. 12.

Подводимая к антенне мощность равна  $20 \cdot n$  дБм, где  $n$  - предпоследняя цифра номера по зачетной книжке. Максимальный коэффициент усиления антенны 2 дБ. Построить графическую зависимость излучения эффективной мощности в вертикальной плоскости. Вычислить эффективную излучаемую мощность в направлении **30** и **60** градусов к земле (рис.13).



Рис.13.

## 5. Характеристики восприимчивости радиоприемных устройств к помехам

Любой реальный приемник в той или иной мере обладает способностью к приему сигналов за пределами требуемой полосы частот. Свойство приемника реагировать на электромагнитные помехи характеризуется восприимчивостью. Реакция приемника на воздействие НЭМП может появиться на его выходе в виде составляющей мешающего сигнала либо изменения амплитуды полезного сигнала, либо искажения структуры полезного сигнала (появление новых спектральных составляющих), либо возникновения интермодуляционных составляющих.

Исходя из параметров, определяющих реакцию (отношение сигнал/шум, коэффициенты блокирования, перекрестные искажения, интермодуляции), различают следующие виды характеристик частотной избирательности (ХЧИ): по СИП и ПКП; по блокированию; по перекрестным искажениям; по интермодуляции.

При изучении материала данного раздела необходимо обратить внимание на правила построения моделей оценки результатов воздействия НЭМП.

Параметром АЧХ, определяющим избирательность приемника от помех по СКП, является коэффициент прямоугольности - отношение полосы пропускания приемника на уровне -60 дБ к полосе пропускания приемника, измеренной на уровне - 3 дБ:

$$K_n = \Delta F / \Delta F_0.$$

Необходимо иметь в виду, что для нежелательных каналов приема оценивается динамический диапазон приемника. Этот параметр АЧХ показывает возможное изменение помехового сигнала на входе приемника по отношению к его чувствительности при фиксированном значении отношения сигнал/шум на выходе. Очевидно, что верхняя граница динамического диапазона представляет собой порог восприимчивости радиоприемника к НЭМП. В общем случае динамический диапазон представляет собой соотношение вида

$$D_i(f) = \Phi_i[A_{ni}/A_o(f_o)],$$

где  $\Phi_i$  - изменяющий функционал, зависящий от типа НЭМП.

Нелинейные характеристики тракта прохождения сигналов (УРЧ, смеситель, УПЧ) в случае интенсивной помехи количественно характеризуются коэффициентами блокирования и перекрестных искажений, а возникновение помех на выходе при действии на входе нескольких радиопомех, частоты которых не совпадают с частотами ОКП и ПКП - коэффициентом интермодуляции. Для оценки используют коэффициент блокирования, коэффициент перекрестных искажений, коэффициент интермодуляции.

### *Эффекты воздействия помех на радиоприемники*

Уменьшение амплитуды полезного сигнала и соответствующее уменьшение отношения «сигнал/шум» на выходе приёмника в результате действия на его вход помехи с частотой, не совпадающей с частотами основного и побочных каналов приёма вызывает *блокирование*. Пусть полезный сигнал и помеха являются гармоническими и могут быть записаны в виде:

$$u_c(t) = U_c \cos \omega_c t, \quad u_{\Pi}(t) = U_{\Pi} \cos \omega_{\Pi} t,$$

тогда напряжение на входе нелинейного элемента является суммой

$$u_{\text{вх}} = u_c + u_{\Pi}.$$

На выходе элемента УВЧ составляющая тока первой гармоники полезного сигнала имеет вид:

$$i_{\text{ВЫХ}} = U_c \left( b_1 + \frac{3}{4} b_2 U_c^2 + \frac{3}{2} b_3 U_{\Pi}^2 \right) \cos \omega t ,$$

а на выходе элемента УПЧ:

$$i_{\text{ПЧ}_{\text{вых}}} = U_c U_2 \left( b_2 + \frac{3}{2} b_4 U_2 + 3 b_4 U_{\Pi}^2 \right) \cos \omega_{\text{ПЧ}} t ,$$

где  $U_2$  – амплитуда напряжения гетеродина, а  $b_1, b_2, b_3, b_4$  – коэффициенты аппроксимации ВАХ.

Эффект блокирования полезного сигнала характеризуется коэффициентом блокирования, который представляет собой отношение изменения амплитуды выходного тока этого сигнала при блокировании к амплитуде этого же тока в отсутствие блокирования. Для УВЧ коэффициент блокирования записывается в виде:

$$K_{\text{бл УВЧ}} = \frac{\Delta I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВЫХ}}} \approx - \frac{3 b_3}{2 b_1} U_{\Pi}^2 .$$

Полное блокирование соответствует  $K_{\text{бл}} = 1$ . Блокирование не возникает в нелинейном каскаде, если амплитудная функция передачи сигнала имеет линейный или квадратичный характер или скорость нарастания уровня выходного сигнала изменяется быстрее, чем константа. Если же амплитудная функция передачи сигнала имеет вид функции с насыщением, как бы отстающей от прямой пропорциональности, то блокирование имеет место.

Если блокирование возможно в двух каскадах, то коэффициенты блокирования складываются в дБ. Свойство приёмника принимать полезный сигнал в присутствии сильной помехи до порога блокирования характеризуется динамическим диапазоном по блокированию в дБ:

$$D_{\text{бл}} = 20 \lg \frac{(U_{\Pi, \text{дон.}})_{\text{бл}}}{U_{\text{с. мин.}}} .$$

Коэффициент блокирования рассчитывается:

$$K_{\text{БЛ}} = |U_{\text{вых}}(U_c + U_n) - U_{\text{вых}}(U_c)| / U_{\text{вых}}(U_c),$$

где  $U_c, U_n$  - входные значения напряжения сигнала и помехи;

$U_{вых}(U_c)$ ,  $U_{вых}(U_c)$  - выходные значения напряжения при наличии и отсутствии помехового сигнала.

Коэффициент перекрестных искажений рассчитывается:

$$K_{ПИ} = |U_{вых}(U_c + U_n) - U_{вых}(U_c)| / U_{вых}(U_c),$$

где,  $U_{вых}(U_c)$  - напряжения некоторой спектральной составляющей выходного сигнала при наличии и при отсутствии помехи.

Коэффициент интермодуляции рассчитывается:

$$K_{инт} = \frac{|U_{вых}(U_c + \sum U_{ni}) - U_{вых}(U_c)|}{U_{вых}(U_c)} \Big/ \frac{U_c}{U_c} = U_{пор},$$

где  $U_{пор}$  - входное напряжение, соответствующее чувствительности приемника.

Модели для частотной и амплитудной восприимчивости приемника базируются на спектральных, корреляционных методах анализа.

Для оценки эквивалентной мощности НЭМП, прошедших по ПКП на выход УПЧ, пользуются интегральным показателем ХЧИ. При выборе той или иной модели необходимо учитывать особенности обработки полезного сигнала, реализуемые в конкретном приемоанализирующем тракте. Окончательные расчеты сводятся к определению отношения сигнал/шум + помеха.

### Вопросы для самопроверки

1. Приведите параметры приемников, влияющих на ЭМС РЭС.
2. Что такое восприимчивость приемника?
3. За счет чего формируются основной и побочный каналы приема?
4. Поясните физические процессы, обуславливающие прямое прохождение помех в приемных трактах.
5. Поясните механизм возникновения интермодуляционных излучений.
6. Поясните механизм возникновения паразитных излучений.
7. Приведите модели различных нежелательных излучений.

### Задачи:

1. Коэффициенты ВАХ УВЧ равны  $b_1 = 1$ ,  $b_2 = -0,1$ ,  $b_3 = -0,01$ , напряжение помехи 1 мкВ. Определите: а) коэффициент блокирования в УВЧ; б) изменение амплитуды выходного тока полезного сигнала под действием блокирования, если номинальная амплитуда этого тока равна  $(1+n)$  мкА, где  $n$  - номер рабочего места; в) коэффициент блокирования в отсутствие блокиро-

вания; г) напряжение помехи, вызывающее 100-процентное блокирование полезного сигнала.

2. Коэффициенты ВАХ УПЧ равны  $b_1 = 1$  ,  $b_2 = 0,01$  ,  $b_3 = -0,01$  ,  $b_4 = -0,001$  , напряжение помехи равно 1 мВ. Определите: а) коэффициент блокирования в УПЧ; б) изменение амплитуды выходного тока сигнала промежуточной частоты под действием блокирования, если номинальная амплитуда этого тока равна  $(1+n)$  мкА, где  $n$ - номер рабочего места;; в) коэффициент блокирования в отсутствие блокирования; г) напряжение помехи, вызывающее 100-процентное блокирование сигнала промежуточной частоты.

3. Приёмник построен, как в задаче 1. Напряжение помехи на входе приёмника равно  $(1+n)$  мВ, где  $n$ - номер рабочего места. Напряжение помехи на входе канала промежуточной частоты равно 1мкВ. Определите итоговый коэффициент блокирования: а) в процентах; б) в дБ.

## 6. Анализ состояния и оценки возможностей обеспечения ЭМС РЭС ГА

Количественные методы анализа состояния и прогнозирования (оценки) возможностей обеспечения ЭМС РЭС ГА основываются на результатах решения следующих задач:

- исследование показателей ЭМС устройств и их элементов;
- исследование электромагнитной обстановки;
- исследование выполнения ЭМС в конкретной группе средств.

При решении первой из перечисленных задач изучению подлежат как характеристики РЭС, являющиеся причиной возникновения НЭМП, так и характеристики, которые определяют подверженность приемника (рецептора) действию непреднамеренных электромагнитных помех. В число рассматриваемых проблем входит определение:

количественных характеристик неосновных излучений радиопередающих устройств;

уровней и спектрального состава промышленных помех, создаваемых различными устройствами;

параметров, характеризующих восприимчивость (ХЧМ) приемоанализирующих трактов вне основного канала приема сигналов как антеннами, так и по цепям электропитания, управления и коммутации;

восприимчивость электронных устройств при воздействии помех через корпуса, по цепям электропитания и т.п.

К этому же ряду проблем относится определение качественных показателей РЭС, подвергшихся действию непреднамеренных помех, и проводимая в дальнейшем оценка соотношения между защитным отношением и найденным реальным значением отношения сигнал/(помеха+шум).

Задачи определения характеристик ЭМС могут решаться на основе детерминированного или вероятностного подхода, причем последний более

адекватен, т.к. учитывает случайный характер влияющих на ситуацию различных факторов.

Задача исследования ЭМС РЭС ГА сводится к определению условий (прогнозируемых или реальных), в которых должно функционировать конкретное РЭО или группа РЭС, и выработке количественных оценок по степени влияния рассматриваемого класса помех на конкретное средство. По отношению к рассматриваемым образцам РЭО ЭМС может быть внешней и внутренней.

К числу рассматриваемых при этом проблем относятся: определение степени загрузки отдельных частотных диапазонов средствами различных радиослужб; нахождение зависимостей уровней неумышленных помех от пространственных, временных, частотных, поляризационных соотношений; составление соответствующих гистограмм распределения энергетических уровней и частот излучения передатчиков и чувствительности приемников, уровней промышленных помех в окружающем пространстве и на объектах, уровней помех в управляющих цепях и

проводах питания; расчет зон, в пределах которого уровни конкретных помех не превышают допустимого значения.

Как и в предыдущем случае, расчеты могут быть детерминированными или вероятностными.

Третья группа задач выполняется с целью установления факта ЭМС и при ее нарушении – нахождения конкретных причин несовместимости, включая выявление источников НЭМП, причин распространения помех и путей их воздействия на рецепторы. Базируясь на данных, полученных на первых двух этапах, решение данной задачи дает ответ на вопрос о наличии или отсутствии совместимости средств, для чего и устанавливается характер влияния помех и проводится оценка результатов этого влияния на качество функционирования РЭС в данной группе.

Необходимо точно уяснить отличия методов оценки ЭМС:

- а) по виду оценки ЭМС – парная, групповая или комплексная;
- б) по характеру учитываемых функциональных связей между анализируемыми средствами – простая или сложная логика влияния;
- в) по характеру оценки ЭМО - детерминированные представления и вероятностные (статистические);
- г) по характеру оценки качества функционирования – детерминированные и вероятностные.

Оценка энергетических характеристик помехи базируется на использовании классической формулы связи, а нормы частотного и территориального разноса выбираются исходя из полученной ранее величины требуемой вероятности обеспечения ЭМС.

## Вопросы для самопроверки

1. В чем принципы количественной оценки ЭМС РЭС?
2. Поясните определение мощности НЭМП.
3. Приведите алгоритм определения норм частотно-территориального разнеса.
4. Поясните степень связи задач, относящихся к анализу ЭМС.
5. В чем заключается задача определения качественных показателей РЭС?
6. Приведите методы получения детерминированных оценок.
7. В чем сущность получения вероятностных оценок?

## 7. Экранирование устройств РЭС

Если при расчёте или измерении оказывается, что критериальная величина (напряжение помехи, соотношение «сигнал – помеха» или другие) не соответствует требованиям, тогда для обеспечения ЭМС требуется принять меры:

1. Поставить вносящие ослабление помехи **экраны**, организовать частотный разнос РЭС, применить экранирование проводов линий РЭС (рис.14);

2. Организовать пространственный разнос источника и рецептора, установить электрические фильтры и т.п.



Рис.14.

Практическое действие экрана теоретически обычно оценивают эффективностью экранирования

$$\mathcal{E} = \frac{E_1}{E_2}, \text{ или } \mathcal{E} = \frac{H_1}{H_2},$$



где  $E_1$  и  $H_1$  – напряженности электрического и магнитного полей на внешней стороне экрана,  $E_2$  и  $H_2$  – напряженности электрического и магнитного полей на внутренней стороне экрана.

Задачи расчёта ослабляющего действия экранов решаются приближённо. Часто используют расчетные соотношения для плоского экрана. Для оценки эффективности экранирования проволочных антенн типа диполь плоским экраном толщины  $d$  можно использовать формулы:

$$\mathcal{E}_{\text{пл}} \approx 60\pi\sigma d, \quad \text{для } \frac{d}{\delta} < 0,1,$$

$$\mathcal{E}_{\text{пл}} \approx 60\pi\sigma d \frac{\delta}{2\sqrt{2}d} e^{\frac{d}{\delta}}, \quad \text{для } \frac{d}{\delta} > 0,1,$$

где удельная проводимость материала  $\sigma$  приведена в таблице 1.

Таблица 1- Удельная проводимость материалов

Вещество	Удельная проводимость $\sigma$ , См/м
Медь	$5,9 \cdot 10^7$
Алюминий	$3,6 \cdot 10^7$
Сталь	$1,0 \cdot 10^7$

Степень глубины проникновения электромагнитного излучения в вещество оценивается  $\delta = A/\sqrt{f}$ , где коэффициент  $A$  приведен в таблице 2.

Таблица 2- Значения коэффициента  $A$

Вещество	Коэффициент $A$ , м·Гц <sup>1/2</sup>
Медь	$6,6 \cdot 10^{-2}$
Алюминий	$8,4 \cdot 10^{-2}$
Сталь	$1,6 \cdot 10^{-2}$

Эффективность экранирования длинной симметричной линии цилиндрическим экраном радиуса  $R$  на длине волны  $\lambda$  определяется формулой:

$$\mathcal{E}_L = 0,16 \frac{\lambda}{R} \mathcal{E}_{\text{пл}}.$$

Эффективность экранирования рамки с током замкнутым экраном с эффективным радиусом  $R$  имеет вид:

$$\mathcal{E}_L = 4,2 \frac{R}{\lambda} \mathcal{E}_{\text{пл}} + \mathcal{E}_0.$$

где значение  $\mathcal{E}_0$  определяется:

$$\mathcal{E}_0 = 1 + \frac{0,66 \mu d}{R}.$$

В формуле для  $\mathcal{E}_0$  учитывается относительная магнитная проницаемость материала  $\mu$ .

Для расчетов применяют логарифмические единицы измерения:

$$L = 20 \lg \mathcal{E}.$$

#### Задачи:

1. Требуется ослабить мощность помехи путём экранирования в  $1000 \cdot n$  раз, где  $n$  - номер рабочего места. Определите величину экранного затухания.
2. Плоский экран из стали имеет толщину 0,1 мм. Определите экранное затухание на частоте  $(100+n)$  МГц, где  $n$  - номер рабочего места.
3. Экран из задачи 2 применили для защиты от узкополосной помехи частоты 1 ГГц. Определите, на сколько дБ экран ослабляет уровень помехи.
4. Устройство с текущими по корпусу токами частоты 450 МГц заключают в оболочку с эквивалентным радиусом 40 см из стали толщиной 0,1 мм. Определите, на сколько дБ ослабляется излучение такого источника помех.
5. Провода симметричной линии, работающей на частоте  $(10 + n)$  кГц, где  $n$  - номер рабочего места, заключают в медную оболочку радиусом 1 см и толщиной 0,2 мм (рис.15). Оцените, на сколько ослабляется помеховое излучение линии.



Рис.15.

6. Требуется ослабить излучение проводов, работающих на частоте 10 кГц, на 60 дБ. Имеется лист алюминия толщиной 0,3 мм. Определите, каков должен быть радиус трубки экрана, в который сворачивают этот лист.

7. Требуется ослабить излучение катушки индуктивности на частотах около 50 кГц на 50 дБ. Определите толщину алюминиевого экрана, из которого можно было бы сделать экранирующую оболочку радиуса 5 см (рис.16).

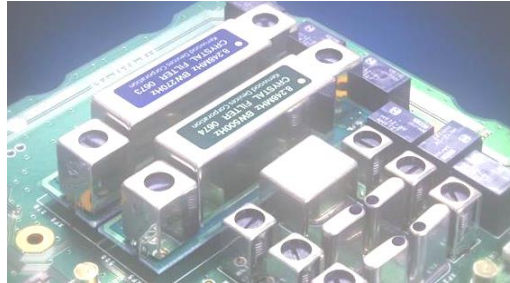


Рис.16.

## 8. Анализ электромагнитной обстановки в аэропортах ГА

Перечень и состав объектов управления воздушным движением, навигации, посадки и связи, устанавливаемых в аэропортах ГА, определяются в соответствии с классами аэропортов и аэродромов, регламентируется документами ИКАО и МГА.

Основными критериями по размещении РЭС в аэропортах ГА относительно ВПП являются:

исключение влияния РЭС как летных препятствий;

обеспечение перекрытия воздушных трасс данного районного центра и получение минимальных углов закрытия в направлениях, совпадающих с трассами и воздушными коридорами;

обеспечение условий нормального функционирования каждого РЭС с оптимальными технико-экономическими показателями;

возможность соблюдения минимально допустимых расстояний от РЭС до населенных пунктов, различных зданий, сооружений и т.п., а также между самими РЭС.

В зависимости от класса аэропорта состав РЭС может варьироваться достаточно в широких пределах. Есть часть средств, тесно привязанных к ВПП, что определяет сложность выполнения вышеотмеченных требований по размещению и приводит зачастую к компромиссным решениям, влияющим, естественно, на ЭМО.

При воздействии помех в выходном сигнале приемника кроме полезной информации содержится информация о реальной ЭМО в районе аэропорта. Этот сигнал можно зарегистрировать и подвергнуть в дальнейшем специальной статистической обработке. При этом собственно статистические характеристики сигнала зависят от того, находится ли радиоприемное устройство под воздействием полезного выходного сигнала или на его вход действует совокупность сигналов и помех. Расхождение соответствующих вероятностей состояния можно оценить по дивергенции Кульбака, а значение защитного отношения сигнал/шум позволяет произвести количественную оценку вероятности поражения конкретных радиолокационных, радионавигационных и радиосвязных устройств помехами от других РЭС.

В свою очередь, установление наиболее опасных каналов приема, по которым происходит поражение радиоприемных устройств НЭМП, позволяет по полученной вероятностной оценке разобрать рекомендации по обеспечению ЭМС. Для этого производится анализ спектральных составляющих взаимодействующих РЭС, устанавливаются потенциально возможные источники помех с учетом их временной развязки и проводится оценка энергетических характеристик полезного и помехового сигналов.

Для наземных и бортовых систем необходимо производить оценку ЭМО с учетом связи между антеннами. Коэффициент связи при этом определяется с помощью следующих методов:

- использование модифицированной геометрической теории дифракций;
- учет экранирования фюзеляжа или корпуса наземной конструкции;
- использование поправочного коэффициента;
- экспериментально.

Потери ЭМИ в условиях аэропортов и городов рассчитывают по формулам

$$L_T = 69,6 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_{BC} - a(h_{AC}) + (44,9 - 6,6 \lg h_{BC}) \lg R,$$

где частота выражается в МГц, высоты подвеса антенн базовой  $h_{BC}$  и абонентской  $h_{AC}$  станций – в метрах, расстояние  $R$  между станциями – в км. Для города средних размеров:

$$a(h_{AC}) = (1,1lgf - 0,7)h_{AC} - 1,56lgf + 0,8,$$

для крупного города:

$$a(h_{AC}) = 3,2(lg11,75h_{AC})^2 - 4,97.$$

### Вопросы для самопроверки

1. Как влияет классность аэропорта на состав РЭО обеспечения полетов?
2. Приведите модели оценки вероятности поражения РЭС помеховыми сигналами.
3. Для конкретного состава оборудования приведите анализ наиболее опасных каналов приема.
4. Каковы правила и особенности размещения РЭС для обеспечения их ЭМС:  
- бортовых РЭС?  
- наземных РЭС?
5. Приведите примеры взаимного влияния наземных и бортовых РЭС ГА.

### Задачи:

1. При расширении зоны обслуживания предельное расстояние приёмника от базовой станции увеличилось в  $2 \cdot n$  раз, где  $n$ -номер рабочего места. Определите, как нужно изменить при этом мощность передатчика, чтобы качество приёма осталось тем же.

2. Помеха сигнала с частотой 1 ГГц от антенны, подвешенной на высоте  $1 \cdot n$  м, где  $n$ -номер рабочего места, принимается приёмником, расположенным на высоте 1 м на расстоянии 1 км от источника в условиях пригородного расположения аэропортов. Определите потери на трассе распространения.

3. Помеха частоты 0,9 ГГц от антенны, подвешенной на высоте  $1 \cdot n$  м, где  $n$ -номер рабочего места, принимается приёмником, расположенным на высоте 5 м и на расстоянии 5 км от источника в условиях сельского расположения аэропортов.

- Определите потери на трассе распространения;

- Построить зависимость потерь на трассе распространения от длины трассы.

4. Помеха частоты 450 МГц от антенны, подвешенной на высоте  $1 \cdot n$  м, где  $n$ - последняя цифра номера по зачетной книжке, принимается приёмником, расположенным на высоте 50 м на расстоянии 1 км от ис-

точника в районе аэропорта около города крупных размеров (рис.17). Определить потери ЭМИ на трассе распространения.



Рис.17.

5. Помеха частоты 600 МГц от антенны, подвешенной на высоте  $1 \cdot n$  м, где  $n$  - номер рабочего места, принимается приёмником, расположенным на высоте 40 м на расстоянии 3 км от источника в районе аэропорта (рис.18) около города средних размеров. Построить зависимость потерь на трассе распространения от длины трассы.



Рис.18.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стукалов С.Б. Электромагнитная совместимость РЭС. Учебное пособие. Воронеж, ООО «МИР», 2019. – 64 с.
2. Болелов Э.А. и др. Радиолокационные системы воздушного транспорта. Учебник. Москва.: ИД Академии Жуковского, 2018 г. – 288 с.
3. Стукалов С.Б. Электромагнитная совместимость РЭС. Пособие по изучению дисциплины и контрольные задания. -М.: МГТУ ГА, 2017. – 32 с.
4. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем: Учебное пособие / Под редакцией М.А. Быховского. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 376 с.
5. Воздушный кодекс РФ.
6. Федеральный закон «О связи» РФ - N 126-ФЗ.
7. Регламент радиосвязи (Международный союз электросвязи).

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение.....	3
1. Особенности РЭС, используемых в гражданской авиации.....	5
2. Основные понятия и характеристики ЭМС РЭС. Термины и определения.....	6
3. Показатели качества функционирования РЭС ГА.....	10
4. Характеристики излучения радиопередающих устройств и антенно-фидерных устройств РЭС .....	12
5. Характеристики восприимчивости радиоприемных устройств к помехам.....	18
6. Анализ состояния и оценки возможностей обеспечения ЭМС РЭС ГА ..	22
7. Экранирование устройств РЭС .....	24
8. Анализ электромагнитной обстановки в аэропортах ГА.....	27
Литература .....	31
Содержание.....	32