

Введение

Настоящее учебно-методическое пособие разработано для проведения практических занятий в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Радионавигационные системы ВС и АП».

Всего рабочей программой предусмотрено проведение 12-ти практических занятий:

- ПЗ 1. Обоснование ТТХ приводных радиостанций (2 час).
- ПЗ 2. Обоснование ТТХ маркерных радиомаяков (2 час).
- ПЗ 3. Расчет величины сигнала в рамочной антенне АРК (2 час).
- ПЗ 4. Обоснование ТТХ автоматических радиоконпасов (2 час).
- ПЗ 5. Обоснование ТТХ автоматических радиопеленгаторов (2 час).
- ПЗ 6. Расчет параметров курсового радиомаяка (2 час).
- ПЗ 7. Расчет параметров глиссадного радиомаяка (2 час).
- ПЗ 8. Обоснование ТТХ бортовой посадочной аппаратуры (2 час).
- ПЗ 9. Обоснование ТТХ азимутального радиомаяка системы VOR (2 час).
- ПЗ 10. Обоснование ТТХ дальномерного радиомаяка системы DME (2 час).
- ПЗ 11. Расчет параметров радиовысотометров малых высот (2 час).
- ПЗ 12. Расчет параметров доплеровских измерителей скорости (2 час).

Технологией проведения практических занятий предусмотрено теоретическое знакомство студентов с конкретными видами радионавигационных систем и устройств, их тактико – техническими характеристиками (ТТХ), структурными и функциональными схемами и решению задач, связанных с обоснованием ТТХ и расчетом отдельных параметров.

Основным учебным пособием при этом является Сборник задач по курсу Радионавигационные системы под редакцией П.А. Бакулева и А.А. Сосновского, изд. М: «Радиотехника», 2011 г.

Учебно – методическое пособие содержит 12 разделов и его содержание охватывает наземные и бортовые устройства ближней радионавигации, а также систем посадки. В основе вопросов и заданий по каждой теме использован опыт преподавания дисциплины «Радионавигационные системы ВС и АП» в МГТУ ГА. Разделы по наземному оборудованию (1,2,5,6,7,9,10) подготовил В.П. Логачев, разделы по бортовому оборудованию (3,4,8,11,12) – Д.А. Затучный.

Раздел 1.Обоснование ТТХ приводных радиостанций (ПРС).

Комплекс ПРС-АРК

Радионавигационной комплекс ПРС-АРК предназначен для полета по маршруту, вывода самолета на аэродром посадки, обеспечения предпосадочного маневра и выполнения неточного захода на посадку.

Комплекс состоит из наземной приводной радиостанции и бортового автоматического радиокompаса; является угломерным навигационным средством (позволяет контролировать курсовой угол радиостанции, как правило, определяя направление полета самолета на принимаемую радиостанцию); погрешность определения курсового угла радиостанции - 2...5°.

Приводными радиостанциями оборудованы все аэродромы и воздушные трассы; серийно выпускается ряд типов автоматических радиокompасов, которыми оборудован весь самолетный и вертолетный парк России и государств СНГ. Основные требования, а также отдельные характеристики используемых в гражданской авиации приводных радиостанций представлены в таблицах 1,2.

Основные требования к характеристикам ПРС

Таблица 1

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	Зона действия: - для обеспечения полетов по трассам; - для обеспечения полетов в зоне аэродрома	км	150 50
2	Диапазон рабочих частот	кГц	190 ... 1750
3	Режим работы		Телефонный, незатухающими колебаниями
4	Режим передачи сигналов опознавания		Автоматический, без разрыва несущей
5	Режим управления радиостанцией: - основной; - резервной		Дистанционный Местный
6	Дополнительные функции		Возможность передачи радиотелефонных сигналов на борт ВС
7	Пределы срабатывания допускового контроля при:		

	- уменьшении мощности излучения несущей частоты более	%	50
	- уменьшении глубины модуляции более	%	50
	- прекращении передачи опознавательного сигнала		
8	Время переключения на резерв	с	2

Сравнительные характеристики современных отечественных ПРС

Таблица 2

Наименование характеристики	ПАР-10 Омск	АРМ-150 Москва	ПАРСЕК Санкт-Петербург	РМП-200 Челябинск НИИИТ-РТС	АПРМ-250 Омск
1. Общее потребление основной аппаратурой	4кВА	800 Вт	1000 Вт	600 Вт	1000 Вт
2. Сетевое напряжение	Трехфазное 380/220 В	Однофазное 220 В	220 В ⁺¹⁰ ₋₁₅ %	Однофазное 187-264 В	Трехфазное 380/220 В
3. Автономные источники питания	Два дизеля 12 кВА	Батареи без автоматизации	Батареи без автоматизации	Герметичные батареи с полной автоматизацией	Дизель, аккумуляторные батареи
4. Диапазон частот, кГц	150-1750	255-1500 кГц	150-1750	190-1750 кГц	150-1750
5. Выходная мощность ПРД	До 400 Вт	До 80 Вт	200-500 Вт	От 20 до 200 Вт	250 Вт
6. Типы антенн	Т-образная	Зонтичная	Т-образные и зонтичные	Т-образные и зонтичные	Все типы
7. Срок службы	45 000 ч (6 лет)	10 лет	15 лет	15 лет	15 лет
8. Нарботка на отказ (по ТУ)	1000 часов	3000 часов	10000 часов	10000 часов	5000 часов

Рассматривая приводную станцию, как передатчик навигационного сигнала, можно отметить в качестве характерной особенности - используемый диапазон частот. При распространении электромагнитная волна в среднем диапазоне волн «стелется» вдоль подстилающей поверхности. Поэтому дальность действия приводной радиостанции зависит от вида подстилающей поверхности. Если известна мощность передатчика P , то напряженность электромагнитного поля в точке, удаленной от маяка на расстояние R можно рассчитать по формуле:

$$E_{\frac{\text{МВ}}{\text{м}}} = \frac{245 \sqrt{P \cdot G}}{R} w, \quad (1)$$

где G – коэффициент усиления антенны (для приводной радиостанции в горизонтальной плоскости можно принять $G = 1$), w – коэффициент потерь при распространении.

В формуле (1) следует подставлять P – в кВт, а R – в км.

Известно выражение, связывающее напряженность электромагнитного поля с током антенны I_a :

$$E_{\frac{\text{МВ}}{\text{м}}} = \frac{120 \cdot 10^3 h_1 I_a}{\lambda R} w. \quad (2)$$

В формуле (2) длина волны λ , высота антенны приводной радиостанции h_1 и расстояние R подставляются в метрах, а ток в антенне I_a – в амперах.

Коэффициент затухания w зависит от угла падения и отражения электромагнитной волны и значения коэффициента отражения Френеля F_B .

$$w = \frac{1 + 2 F_B \cdot \cos \gamma}{1 + \frac{4 h_1 h_2}{\lambda R} + F_B^2}. \quad (3)$$

Коэффициент отражения Френеля при вертикальной поляризации электромагнитной волны определяется характеристиками подстилающей поверхности Земли.

$$F_B = \frac{\varepsilon \sin \gamma - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \gamma}}{\varepsilon \sin \gamma + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \gamma}}, \quad (4)$$

где ε – модуль диэлектрической проницаемости поверхности Земли.

$$\varepsilon = \varepsilon_0^2 + (60 \sigma \lambda)^2, \quad (5)$$

σ – проводимость Земли;

ε_0 – диэлектрическая проницаемость Земли;

λ – длина волны;

γ – угол падения электромагнитной волны.

$$\gamma = \frac{180}{\pi} \arctg \frac{h_1 + h_2}{R}. \quad (6)$$

В формуле (3) и (6) h_2 - высота полета летательного аппарата.

Задания и вопросы

1. Рассчитать и построить график напряженности поля приводной радиостанции от дальности.

Исходные данные: мощность ПАР-10 – 200, 400 Вт;

высота антенны h_1 – 20, 5 м;

высота полета h_2 – 10000, 3000, 500;

частота – 150, 950, 1750 кГц;

тип подстилающей поверхности: $\varepsilon=4$, $\sigma=10^{-3}$.

Расчетное задание для каждого студента состоит в исследовании влияния характеристик приводной станции и свойств подстилающей поверхности на дальность действия приводной радиостанции $E(R)$.

Значения параметров для расчета каждый студент выбирает индивидуально, опираясь на характеристики приводной радиостанции ПАР-10С и характеристики внешних условий:

$P = 200$ Вт или 400 Вт;

λ = любая в диапазоне частот 150 – 1750 кГц;

$h_1 = 5$ м или 20 м.

h_2 = любая в диапазоне 300 – 10000 м.

Тип почвы: морская вода - $\varepsilon_0 = 80$, $\sigma = 4$;

сухая почва - $\varepsilon_0 = 4$, $\sigma = 10^{-3}$;

снег - $\varepsilon_0 = 1,4$, $\sigma = 10^{-3}$.

Выбрав значения характеристик, строится исходный график $E_1(R)$. Затем, изменив значение одной из характеристик участвующих в расчетах, на том же рисунке строится второй график $E_2(R)$.

2. Оценить дальность действия приводной станции ПАР-10 в конкретных, реальных условиях эксплуатации.

3. Запишите кратко порядок настройки приводной радиостанции ПАР-10.

4. Зависит ли коэффициент затухания радиоволны ПРС от типа подстилающей поверхности и почему?

5. Из каких соображений выбраны параметры антенной системы ПАР-10?

6. Чем определяется дальность действия приводной радиостанции?

Раздел 2. Обоснование ГТХ маркерных радиомаяков.

Системы посадки предназначены для получения на борту самолета, выдачи экипажу и в систему автоматического управления информации о значении и знаке отклонения от установленной траектории снижения, а также для определения моментов пролета характерных точек, определяемых

установкой маркерных радиомаяков (МРМ-В, МРМ-70, РММ-95, МРМ-97), при заходе на посадку и выполнении посадки.

Наземный маркерный радиомаяк (МРМ) и бортовой радиоприемник (МРП) служит для маркировки, фиксации характерных точек земной поверхности. В системах посадки такие точки обычно совпадают с расположением дальнего (ДПРМ) и ближнего (БПРМ) приводных радиомаяков. Помогая экипажу проконтролировать высоту полета (по высотомеру) этих характерных точек, данная навигационная система является угломерной, амплитудной, реализующей метод максимума и, позволяющей зафиксировать угол отклонения от вертикали в точке установки МРМ. Величина угла в вертикальной плоскости нормируется временем пролета летательного аппарата в створе диаграммы направленности антенны. Для ДПРМ при высоте $H = 200$ м это время $t_{пр} = 12$ сек., для БПРМ $H = 60$ м $t_{пр} = 6$ сек.

Точность установки МРП в плоскости линии курса:

для ДПРМ - ± 100 м;

для БПРМ - ± 50 м.

Отклонение от линии курса допускается в пределах:

для ДПРМ - ± 75 м;

для БПРМ - ± 30 м.

Все основные тактико-технические характеристики МРМ определены нормами ИКАО, в том числе несущая частота $f_{нес} = 75$ МГц, частоты модуляции $F_m = 400, 1300, 3000$ Гц, манипуляция (Таблица 3).

Основные требования к характеристикам МРМ

Таблица 3

Маркерный радиомаяк					
1	2	3	4	5	6
1	Непрерывность манипуляции в зоне действия		Правильная манипуляция, ясная слышимость		
2	Зона действия на линии курса и глиссады: - дальнего - ближнего - внутреннего	м	600±200 300±100 150±50		
3	Допуск несущей частоты	%	±0,005		
4	Выходная мощность	Вт	Устанавливается при вводе в эксплуатацию ±0,01		
5	Допуск на частоту модуляции	%	±2,5		
6	Манипуляция: - непрерывность - скорость манипуляции дальнего	Непрерывная последовательность манипулированного сигнала 2 тире в с ±15%			

	ближнего внутреннего	6 точек в с ±15% непрерывный сигнал без манипуляции	
7	Пределы срабатывания допускового контроля: - уменьшение мощности от номинальной, не менее - уменьшение глубины модуляции, не менее - манипуляция	% % -	50 50 при отказе
8	Напряженность поля на границе зоны действия, не менее	мВ/м	1,5
9	Возрастание напряженности поля в пределах зоны действия, не менее	мВ/м	3,0

Антенна МРМ представляет собой два горизонтальных вибратора, разнесенных на расстояние $d = \frac{\lambda}{3}$ (Рис. 1). Один из них является излучателем, другой – активный отражатель. Диаграмма направленности такой антенны может быть описана упрощенными выражениями [2]:

$$\begin{aligned}
 &\text{для } E \\
 &\text{плоскости:} \\
 &\text{для } H \\
 &\text{плоскости:}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 f_{\gamma} &= \cos \frac{2\pi d}{\lambda} (\cos \gamma - 1) \cos \gamma \\
 f_{\theta} &= \cos \frac{2\pi d}{\lambda} (\cos \theta - 1)
 \end{aligned}
 \quad 7)$$

В формулах (7) θ - угол в H плоскости, отсчитываемый от линии, соединяющей два вибратора. γ – угол в E плоскости, отсчитываемый от нормали, которая проходит через центр вибраторов. λ - длина волны. Формула (7) справедлива, если φ - разность фаз между сигналами, питающими оба вибратора $\varphi = \frac{\pi}{2}$.

Задания и вопросы

1. Рассчитать и построить ДНА маркерного радиомаяка при изменении технических параметров:

- 1) Расстояния между вибраторами;
- 2) Фазы питающих токов.

2. Мощность маркерного маяка МРМ-70 350мВт. При каком уровне мощности произойдет переключение на резервный комплект?

3. Нарисуйте схематично антенну МРМ-70.

4. Нарисуйте в плане (вид сверху) расположение оборудования ОСП в зоне аэродрома.

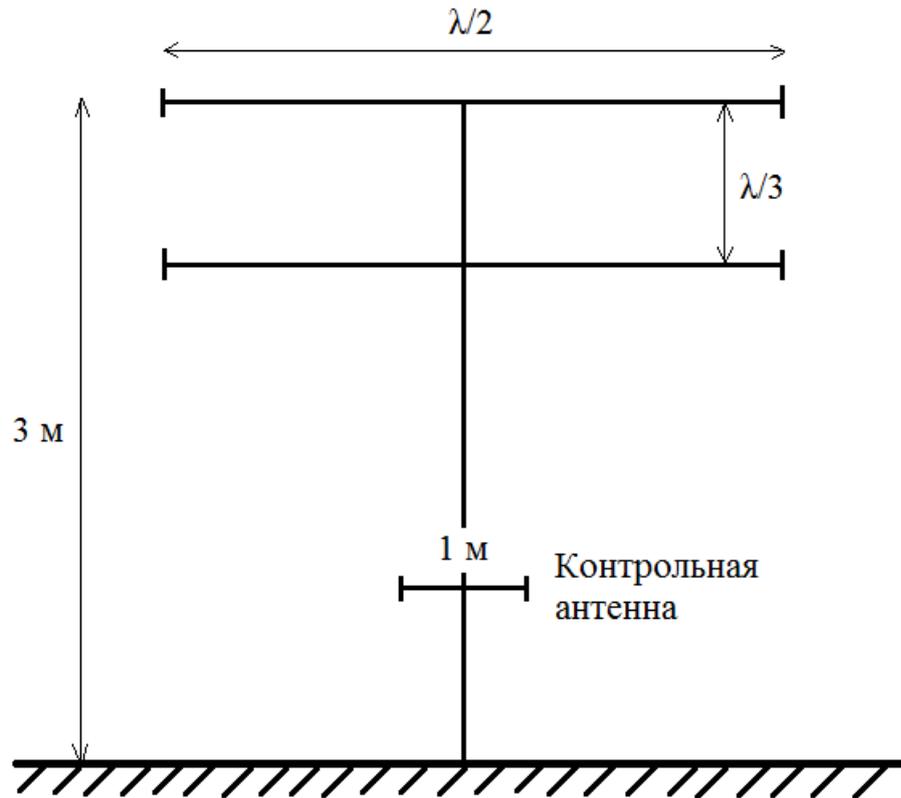


Рис. 1 Антенна маркерного радиомаяка

Раздел 3. Обоснование ГТХ автоматических радиоконпасов.

АРК представляет собой бортовой автоматический радиопеленгатор, с помощью которого определяется направление на приводные (ПРС) и ширококвотательные радиостанции. С помощью АРК измеряется курсовой угол радиостанции (КУР) – угол в горизонтальной плоскости между направлением продольной оси ВС и направлением на ПРС. КУР отсчитывается по часовой стрелке [1,3].

АРК работает в диапазоне частот 150 ... 2000 кГц и предназначены для решения задач самолетовождения и посадки (по системе ОСП). В настоящее время они применяются как самостоятельно, так и в составе бортовых навигационных комплексов в качестве резервного радионавигационного средства.

В настоящее время в ГА эксплуатируются радиоконпасы АРК-15М, АРК-22 и АРК-25. Их основные технические характеристики приведены в табл. 4.

Технические характеристики АРК

Таблица 4.

Наименование характеристики	АРК – 15М	АРК-22	АРК-25
Диапазон частот, кГц	150 – 1799,5	150 – 1750	150 – 1750
Число поддиапазонов	5	7	6

Дискретность сетки частот, в Гц	500	500	500
Точность установки частоты, Гц	± 100	± 30	± 30
Точность индикации КУР, град	± 2	$\pm 1,5$	± 1
Дальность действия с ПРС типа ПАР-7, ПАР-8, км - $H_{\text{полета}} = 10000$ м - $H_{\text{полета}} = 1000$ м	340 – 350 180	340 – 350 180	340 – 350 180
Количество каналов предварительной настройки	8	16	32
Время перестройки с канала на канал, с	4	2,5	2,0

АРК обеспечивает решение следующих задач:

- осуществление полета ВС на радиостанцию или от нее в заданном направлении с визуальной индикацией КУР;
- определение пеленга на радиостанцию с использованием данных о текущем курсе ВС;
- выполнение захода на посадку по системе посадки ОСП;
- определение местоположения ВС методом линий положения по двум радиомаякам, расположенным в точках с известными координатами;
- прослушивание позывных приводных радиостанций.

Кроме того, АРК может быть использован в качестве резервного связного радиоприемника в радиосети управления самолетами при отказе бортовой связной радиостанции (21-й канал связи). В этом случае команды с земли передаются руководителем полетов через дальнюю ПРС (ДПРС), которая оснащается специальной приставкой.

Задания и вопросы

1. Какие режимы работы имеет автоматический радиокompас АРК-15М?
2. Какие схемотехнические решения реализуются в радиокompасе?
3. Что понимается под предельной чувствительностью по приводу?
4. Что понимается под предельной чувствительностью по пеленгу?
5. Какой диапазон частот работы АРК?
6. Нарисовать эпюры для напряжения ненаправленной антенны, выходного напряжения балансного модулятора и входного напряжения приёмника, формируемого на контуре сложения.

Раздел 4. Расчет величины сигнала в рамочной антенне АРК.

Диаграмма направленности рамочной антенны после нормировки может быть записана в виде [1,3]:

$$F(\theta) = \sin \theta,$$

где θ - угол, отсчитываемый от перпендикуляра к рамке.

Амплитуда принимаемого сигнала одинакова для направлений, симметричных относительно перпендикуляра к рамке. Фазы же сигналов для данных направлений противоположны.

При определении направления по методу минимума рамка разворачивается в положение минимального сигнала. Диаграмма направленности рамочной антенны имеет два минимума – при углах θ , равных 0 и 180° .

Выделение информации, содержащейся в фазе высокочастотного сигнала, используется для изменения направления вращения рамки при переходе через нуль. В канале формирования информационного сигнала дополнительно используется сигнал ненаправленной антенны. Совместная обработка сигналов двух антенн с применением внутренней модуляции позволяет получить амплитудно-модулированный сигнал.

Применение в качестве направленной антенны рамочной антенны малых по сравнению с длиной волны размеров определяет вид диаграммы направленности. Для электромагнитного поля:

$$E \llcorner = E \cos \omega t ; H \llcorner = H \cos \omega t .$$

Сигнал рамки имеет фазовый сдвиг по отношению к принимаемой волне. С целью устранения фазового сдвига сигнал рамки проходит через фазирующую цепь, на выходе которой $u_p \llcorner = U_{p \max} \sin \theta \cos \omega t$.

На приёмник поступает суммарный сигнал рамочного канала и ненаправленной антенны.

Напряжение на входе приёмника имеет следующий вид:

$$u_{\text{вх.пр}} \llcorner = U_n [1 + m \llcorner \sin \Omega t] \cos \omega t ,$$

где $m \llcorner = U_{\text{б..м.мак}} \sin \theta / U_n$ - коэффициент модуляции, $U_{\text{б..м.мак}}$ - максимальная амплитуда напряжения балансного модулятора, U_n - амплитуда напряжения ненаправленной антенны, Ω - частота звукового генератора.

Задания и вопросы

1. Записать вид диаграммы направленности рамочной антенны. Привести рисунок.

2. Записать формулу для нахождения напряжения рамочной антенны через высоту рамки и напряжённость электрического поля?

3. Какой фазовый сдвиг имеет сигнал рамки по отношению к принимаемой волне?

4. В чём заключается назначение балансного модулятора?

5. От чего зависит глубина модуляции амплитудно-модулированного сигнала на входе приёмника?

6. Найти коэффициент модуляции амплитудно-модулированного сигнала на входе приёмника, если амплитуда напряжения на выходе балансного модулятора равна 2, угол, отсчитываемый от перпендикуляра к рамке, равен 60° , амплитуда напряжения ненаправленной антенны равна 3.

Раздел 5. Обоснование ГТХ автоматических радиопеленгаторов.

Автоматический радиопеленгатор диапазона метровых волн (МВ-АРП) предназначен для определения радиопеленга на ВС относительно места установки антенны радиопеленгатора.

АРП должен обеспечивать уверенное пеленгование ВС в секторах прохождения контролируемых маршрутов полетов в районе аэродрома.

Дальность пеленгования ВС, оборудованного радиостанцией мощностью 5 Вт, должна быть менее 80 км на высоте 1000 м, не менее 150 км на высоте 3000 м и 300 км на высоте 10000 м.

Основные требования к АРП представлены в таблице 5

АРП, предназначенные для работы на каналах воздушной связи в зоне аэродрома, как правило, устанавливаются на участке РСП на удалении не менее 60 метров от ВПП, при этом антенная система АРП юстируется с учетом магнитного склонения для данной позиции (на север магнитный).

Многоканальные АРП, используемые на каналах воздушной связи РЦ УВД, устанавливаются на участке ОРЛ-Т, при этом антенная система АРП также юстируется с учетом магнитного склонения.

АРП состоит из оборудования, устанавливаемого на аэродроме и в командно диспетчерском пункте (КДП).

Аэродромное оборудование включает: аппаратный кузов, (контейнер), антенно-мачтовое устройство (АМУ) высотой до 7м и контрольно-испытательный генератор (КИГ), который в зависимости от типа пеленгатора крепится к кузову или устанавливается на отдельно стоящей площадке и используется в режиме контрольных испытаний.

В КДП устанавливаются шкаф АРП или компьютеры, модемы и устройство защиты современных многоканальных АРП, а на пультах диспетчеров размещаются индикаторы пеленгов электрохимические от АРП предыдущего поколения и в виде панельных компьютеров.

С целью уменьшения методической погрешности от влияния переотраженных сигналов предъявляются требования к месту расположения АРП.

Уклон местности в районе участка АРП в радиусе 100 м должен быть не более 1:50, а расстояние от АМУ до различных сооружений и местных объектов должно соответствовать требованиям эксплуатационной документации на АРП. Так, проволочные ограждения должны быть на удалении 50 м, места стоянки ВС – 400 м, лес высотой 10-20 м – 300 м, линии электропередач высоковольтные – 500 м, низковольтные – 400 м и т.д.

Основные требования к характеристикам АРП

Таблица 5

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	Зона действия на высотах: - 1000 м; - 3000 м	км	80 150
2	Среднеквадратическая погрешность пеленгования, не более	градус	1,5
3	Диапазон рабочих частот: - ОВЧ	МГц	118-137
4	Режим управления и контроля: - основной; - резервный		дистанционный местный

Примечание: норматив в п. 2 указан для доплеровских АРП. Для других – 2,5°

Потенциальная точность АРП определяется отношением сигнал/шум и крутизной пеленгационной характеристики.

Наиболее существенной методической погрешностью АРП является погрешность, возникающая за счет переотраженного сигнала.

В [3] приведена формула расчета данной погрешности для амплитудного АРП:

$$\Delta A = \operatorname{arctg} \frac{K_{\text{отр}} \sin(A_c - A_{\text{по}})}{1 + K_{\text{отр}} \cos(A_c - A_{\text{по}})}. \quad (8)$$

где $K_{\text{отр}}$ - коэффициент отражения Френеля ($0 \div 1$); $A, A_{\text{п.о.}}$ - азимуты прямого сигнала и переотраженного.

В фазовом радиопеленгаторе информация об азимуте содержится в фазе принимаемого сигнала. Следовательно, ошибка измерения азимута ΔA будет пропорциональна разности фаз (δ) между сигналом и результирующим напряжением, образованным сигналом и переотражающим объектом (помехой).

$$\Delta A = \frac{\delta}{m_\varphi},$$

где m_φ - индекс фазовой модуляции.

Можно показать [3], что максимально возможное значение разности фаз (δ) примерно оценивается, как $1,164 K_{отр}$.

Задания и вопросы

1. Рассчитать и построить зависимости ошибки пеленгования ΔA от азимута переотражающего объекта Апо при фиксированном азимуте цели для амплитудного АРП.
2. Какой принцип заложен в работу:
 - Амплитудного пеленгатора (АРП-7с);
 - Фазового пеленгатора АРП-75 (АРП-80), (АРП-95), (Платан).
3. Каковы основные тактико-технические характеристики оборудования фазовых радиопеленгаторов, указанных в вопросе 2 (точность измерения, зона действия, надежность, рабочий диапазон частот, мощность излучения).
4. Нарисуйте обобщенную структурную (функциональную) схему оборудования фазового радиопеленгатора.
5. Каковы основные особенности схемных решений фазовых радиопеленгаторов.
6. Какие основные факторы влияют на точностные характеристики фазовых радиопеленгаторов.
7. Чем определяется потенциальная точность измерения фазовых радиопеленгаторов.
8. Какие конкретные меры применяются для снижения влияния внешних и внутренних дестабилизирующих факторов на точностные характеристики фазовых радиопеленгаторов (переотражения от местных предметов, влияние подстилающей поверхности и т.д.).
9. Рассчитать и построить пеленгационную характеристику амплитудного радиопеленгатора.
10. Рассчитать и построить пеленгационную характеристику фазового радиопеленгатора.
11. У радиопеленгатора АРП-7С в канале «С-Ю» в два раза уменьшился коэффициент передачи. Как это повлияет на показания индикатора?
12. Покажите, что в круговой антенной решетке АРП-75 необходимо использовать 16 вибраторов.
13. Какая потенциальная точность обеспечивается радиопеленгатором АРП-75.
14. Можно ли увеличить частоту «вращения» боковых вибраторов АРП-75, и до какого предела.
15. Сможет ли радиопеленгатор АРП-75 запеленговать импульсный сигнал? Сигнал радиостанции с однополосной модуляцией?
16. Рассчитайте крутизну пеленгационной характеристики радиопеленгатора АРП-75.

Раздел 6. Расчет параметров курсового радиомаяка.

Радиомаячная система посадки (РМС) – совокупность наземных и бортовых радиотехнических устройств, обеспечивающих на борту ВС информацию, необходимую для управления им в процессе захода на посадку и при посадке.

К наземному оборудованию РМС относятся:

- курсовой радиомаяк (КРМ), излучающий в пространство сигналы, содержащие информацию для управления воздушным судном по курсу при выполнении захода на посадку и при посадке;
- глиссидный маяк (ГРМ), излучающий в пространство сигналы, содержащие информацию для управления воздушным судном в вертикальной плоскости при выполнении захода на посадку при посадке;
- ближний маркерный радиомаяк (БМРМ), предназначенный для обеспечения экипажа воздушного судна информацией о близости перехода на визуальный этап полета в условиях захода на посадку со сниженным минимумом посадки;
- дальний маркерный радиомаяк (ДМРМ), предназначен для обеспечения экипажа воздушного судна информацией о необходимых для проверки высоте, расстоянии от ВПП и функционирования оборудования на конечном этапе захода на посадку.

Системы посадки метрового диапазона формируют траекторию посадки самолета и обеспечивают его посадку в сложных метеоусловиях.

Радиомаячные системы посадки подразделяются на системы первой, второй и третьей категории (РМС-1, РМС-2, РМС-3).

В гражданской авиации в настоящее время используются системы СП-75, - 80, -90, -200.

Все указанные системы удовлетворяют требованиям ИКАО в части обеспечения посадки по I, II и III-й категориям (в зависимости от модификации) и являются аналогом международной системы ИЛС. Все современные системы посадки метрового диапазона относятся к классу суммарно-разностных РМС (принцип «опорного нуля»).

Для работы по системам метрового диапазона используется бортовая аппаратура "Курс-МП" (-2; -70), ИЛС-85, "Ось-1", VIM-95.

В таблице 6 приведены требования к характеристикам курсового маяка по категориям посадки.

Основные характеристики КРМ

Таблица 6

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив		
			РМС-1	РМС-2	РМС-3
1	Опознавание				

2	Пределы установки и поддержания средней линии курса в опорной точке относительно осевой линии ВПП	м	±10,5	±7,5	±3,0
3	Номинальная чувствительность к смещению от линии курса в пределах полусектора у порога ВПП (Для КРМ 1 категории максимальный угол сектора курса не должен превышать 6°.	РГМ/м	0,00145	0,00145	0,00145
4	Пределы отклонения чувствительности к смещению от номинального значения	%	±17	±17	±10
5	Амплитуда искривлений линии курса (максимально допустимая)	РГМ	0,031	0,031	0,031
6	Зона действия в горизонтальной плоскости в секторах, не менее - ±10° - от ±10° до ±35°	км км	46 32	46 32	46 32
7	Зона действия в вертикальной плоскости, не менее	градус	7	7	7
8	Напряженность поля: - на границах зоны действия, не менее	мкВ/м	40	40	40
9	Характер изменения РГМ (азимутальная характеристика) в секторе, не менее - от линии курса до углов с РГМ ±0,18 - от углов с РГМ ±0,18 до углов ±10°	РГМ	Монотонное увеличение 0,18	0,18	0,18
10	Срабатывание системы автоматического контроля: - при смещении линии курса				

	от осевой линии ВПП в т. Т, не более - при изменении чувствительности к смещению от линии курса, от номинального значения, не более	м	±10,5	±7,5	±6,0
		%	±17	±17	±17
11	Допуск несущей частоты: - одночастотного радиомаяка - двухчастотного радиомаяка	%	±0,005		-
		%	±0,002	±0,002	
12	Глубина модуляции несущих частот сигналами 90 и 150 Гц	%	20±2		
13	Параметры сигнала опознавания: - соответствие кода - период повторения, не более - частота модуляции - глубина модуляции несущей сигналом опознавания	с Гц %	3 буквы, причем первая – И 10 1020±50 10±5		

В КРМ с опорным нулем линия курса формируется разностной диаграммой направленности (ДНА) антенной системы и совпадает с ее нулем. Приравнивая выражение ДНА к нулю и решая относительно угла отклонения от курса (φ) получаем:

$$f_p \varphi = \cos \frac{\pi d}{\lambda} \sin \varphi - \frac{\psi}{2}, \dots \dots \dots (9)$$

где ψ - разность фаз сигналов, питающих левую и правую половины антенной системы $\psi = \pi$; d - эквивалентное расстояние между центрами половин антенной системы.

Решая (9) относительно угла (φ),

$$\varphi = \arcsin \left[\frac{\lambda}{2\pi d} (\psi - \pi) \right]. \quad (10)$$

Выражение (10) устанавливает связь между углом отклонения от линии курса и фазировкой антенной системы.

Крутизна зоны курсового маяка определяется [3]:

$$S = \frac{\Delta \text{РГМ}}{\Delta \varphi} = m \frac{E_p}{E_c} f_p' \varphi_0 ,$$

где f_p' - производная результирующей ДНА; $\frac{E_p}{E_c}$ - отношения амплитуд сигналов разностной и суммарной ДНА.

Задания и вопросы

1. Опишите принцип работы курсового маяка «с опорным нулем».
2. Каковы основные тактико-технические характеристики оборудования курсового маяка (точность измерения, зона действия, надежность, рабочий диапазон частот, мощность излучения)?
3. Рассчитать, с какой точностью нужно установить разность фаз вибраторов для КРМ 1 (2, 3) категории с целью формирования разностной ДНА.
4. Рассчитать потенциальную точность измерения угла в КРМ-68.
5. Рассчитать требуемую точность установки соотношения амплитуд разностного и суммарного сигналов ДНА КРМ для различных категорий посадки.
6. Определить сектор курса системы посадки СП-75, если длина ВПП $L=2300$ м.
7. Запишите требования к зоне установки КРМ и ГРМ СП (с рисунками).
8. Какова вероятность ложного срабатывания аппаратуры контроля и выдачи сигнала «АВАРИЯ» по «0 зоны курса»?
9. Как можно увеличить крутизну зоны курсового маяка КРМ-75 в два раза?
10. Как можно увеличить точность измерения угла отклонения от линии курса?
11. Нарисуйте обобщенную структурную (функциональную) схему оборудования курсового маяка.
12. Каковы основные особенности схемных решений курсового маяка?
13. Какие основные факторы влияют на точностные характеристики курсовой системы посадки?
14. Чем определяется потенциальная точность измерения курсовой системы посадки?

Раздел 7. Расчет параметров глиссидного радиомаяка.

В таблице 7 приведены требования к характеристикам глиссидного маяка по категориям посадки.

Таблица 7

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив РМС-1	Норматив РМС-2	Норматив РМС-3
1	Пределы установки и				

	поддержания угла глissады относительно номинального (расчетного для данного направления Θ)	отн. ед.	$\pm 0,075$	$\pm 0,075$	$\pm 0,04$
2	Положение границ полусектора глissады относительно номинальной линии глissады: - выше глissады - ниже глissады	мин мин	(0,07-0,14) Θ (0,07-0,14) Θ	0,12 Θ (0,12 \pm 0,02) Θ	(0,12 \pm 0,02) Θ (0,12 \pm 0,02) Θ
3	Пределы поддержания чувствительности к смещению РГМ относительно номинального значения	%	± 25	± 20	± 15
4	Амплитуда искривлений глissады	РГМ	0,035	0,035 Линейное уменьшение до 0,023	
5	Зона действия: - в горизонтальной плоскости в секторе $\pm 8^\circ$ относительно осевой линии ВПП - в вертикальной плоскости в секторе, ограниченном углами выше глissады ниже глissады	км градус градус	18 1,75 Θ 0,45 Θ	18 1,75 Θ 0,45 Θ^1	18 1,75 Θ 0,45 Θ^1
6	Напряженность поля в зоне действия, не менее	мкВ/м	400	400	400
7	Угломестная характеристика в секторе (плавное увеличение): - от линии глissады вверх до величины - от линии глissады вниз до угла 0,45 Θ , не	РГМ РГМ	0,175 -0,22	0,175 -0,22	0,175 -0,22

	менее			
8	Срабатывание системы автоматического контроля для одночастотного ГРМ: - при смещении угла глиссады от номинального значения, не более - при изменении чувствительности к смещению от номинального значения, не более	отн. ед. %	$\pm 0,075$ ± 25	
9	Допуск несущей частоты: - одночастотного радиомаяка - двухчастотного радиомаяка	% %	$\pm 0,005$ $\pm 0,002$	- 0,002
10	Глубина модуляции несущих частот сигналами 90 и 150 Гц	%	$40 \pm 2,5$	
11	Пределы срабатывания допускового контроля: - время ложного излучения, не более - уменьшение мощности излучения одночастотного маяка - уменьшение мощности излучения двухчастотного маяка	с % %	1 50 80	

Примечание: зона действия ГРМ в вертикальной плоскости ниже линии глиссады может быть ограничена углом равным $0,3\theta$

Для глиссадного радиомаяка угол глиссады (θ_0) связан с высотой подвеса верхней антенны (h_B) [3]:

$$\theta_0 = \frac{\lambda}{2h_B}. \quad (11)$$

Таким образом высота подвеса верхней антенны определяет угол глиссады:

$$h_{\text{в}} = \frac{\lambda}{2\theta_0}. \quad (12)$$

Дифференцируя (12) по углу и переходя к конечным приращениям, имеем:

$$\Delta h_{\text{в}} = \frac{\lambda}{2\theta_0^2} \Delta\theta. \quad (13)$$

Выражение (13) позволяет оценить требуемую точность подвеса верхней антенны, исходя из требуемой точности установки угла глissады (см. табл. 7).

Задания и вопросы

1. Какой принцип заложен в работу ГРМ современных РМС?
2. Каковы основные тактико-технические характеристики оборудования ГРМ (точность измерения, зона действия, надежность, рабочий диапазон частот, мощность излучения)?
3. Нарисуйте обобщенную структурную (функциональную) схему оборудования ГРМ.
4. Каковы основные особенности схемных решений ГРМ?
5. Рассчитать, с какой точностью необходимо устанавливать высоту верхней антенны для ГРМ 1 (2, 3) категорий в диапазоне частот 328,6 – 335 МГц.
6. На каких высотах надо подвесить излучатели антенны типа «О» ГРМ-75 для формирования глissады под углом $2^\circ 15'$?
7. С какой точностью надо установить высоту подвеса верхней антенны ($h_{\text{в}}$) ГРМ-2М2К (маяк 2-ой категории)?
8. Как (на сколько) изменится угол глissады и крутизна зоны ГРМ-75, если выпадет снег толщиной 0,5 м?
9. С какой точностью надо выставить отношение амплитуд напряжений, питающих верхний и нижний излучатели антенны ГРМ-75 (маяк 1-ой категории)?
10. Определите угловые размеры сектора глissады узкого канала системы ГРМ-80.
11. Запишите требования к зоне установки КРМ и ГРМ СП (с рисунками).
12. Какова вероятность ложного срабатывания аппаратуры контроля и выдачи сигнала «АВАРИЯ» по «0 зоны курса»?
13. Что необходимо сделать, чтобы увеличить угол глissады ГРМ-75 с антенной типа «О»?

Раздел 8. Обоснование ГТХ бортовой посадочной аппаратуры.

Комплект аппаратуры КУРС МП-70 состоит из моноблоков (УНП). В УНП входят основные устройства приёма и обработки информации, поступающей от наземных радиомаяков с целью преобразования её в вид, удобный для воспроизведения на индикаторах пилотов и штурмана.

Для установки магнитного пеленга радиомаяка (выбранного курса) используется селектор курса. В состав комплекта аппаратуры КУРС МП-70 входят два селектора курса: один для первого навигационно-посадочного устройства, второй – для второго.

Для выбора частотного канала курсового или глиссадного трактов аппаратуры используется пульт управления. В состав комплекта аппаратуры входят два пульта управления по числу навигационно-посадочных устройств.

Селектор режимов применяется в системе управления аппаратурой для переключения режимов посадки ILS и СП-50, а также для управления коммутацией выходных цепей УНП.

В таблице 8 сведены основные эксплуатационно-технические характеристики системы КУРС МП-70.

Таблица 8.

Наименование эксплуатационно-технической характеристики	Показатель эксплуатационно-технической характеристики
Условия работы: температура окружающего воздуха относительная влажность	от -60 до $+60^{\circ}C$ 98% при $+40^{\circ}C$
Количество каналов: по курсу по глиссаде	200 40
Чувствительность: по курсу по глиссаде	5 мкВ 10 мкВ
Стабильность частоты: по курсу по глиссаде	0,0035% 0,005%
Точность центрирования по курсу	± 6 мкА
Погрешность измерения азимута	$1,5^{\circ}$

Задания и вопросы

1. Для чего предназначена самолётная аппаратура КУРС МП-70?
2. Что входит в задачи навигационно-посадочного устройства УНП?
3. Что обеспечивают фильтры в блоке высокой частоты курса?
4. Какие каналы имеет блок низкой частоты курса в режиме VOR?
5. В чём заключается принцип работы схемы индикации направления полёта самолёта “ОТ-НА”, входящей в блок низкой частоты курса?
6. Для блока низкой частоты курса нарисовать график характеристики фазового детектора.

Раздел 9. Обоснование ГТХ азимутального радиомаяка системы VOR.

Вместо радиомаяков РСБН в аэропортах ГА широкое применение получили всенаправленные ОВЧ-радиомаяки азимутальные (РМА-90) или их импортные аналоги VOR и дальномерные УВЧ-радиомаяки – аналог DME, а также доплеровские радиомаяки DVOR.

ОВЧ-радиомаяк азимутальный РМА (VOR) предназначен для излучения в пределах зоны действия навигационных сигналов, содержащих информацию об азимуте относительно точки установки радиомаяка и сигналов опознавания радиомаяка.

Система состоит из наземной части – радиомаяка и устанавливаемой на борту ВС аппаратуры, которая обеспечивает получение на борту ВС следующей информации:

- об азимуте воздушного судна, т.е. угле между направлением на север и направлением «радиомаяк – самолет»;
- об отклонении воздушного судна от заданной линии курса (линии положения);
- о направлении полета относительно радиомаяка – «на» или «от» него;
- об отличительном признаке радиомаяка;
- речевых сообщений.

РМА работают в диапазоне частот 108-118 МГц, РМД – в диапазоне 960-1215 МГц. Дальность действия РМА составляет не менее 300 км при высоте полета ВС 12км, РМД – не менее 260 км на той же высоте – 12 км.

Основные требования к характеристикам РМА

Таблица 9

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	Опознавание		Четкое, правильное, разборчивое, не влияет на курсовую линию
2	Зона действия: - в горизонтальной плоскости;	-	Обеспечивает удовлетворительный прием сигнала на борту ВС до угла 40° в зависимости от высоты полета
3	Ошибка измерения пеленга (на		

	расстоянии 4λ), не более	градус	± 2
4	Стабильность частоты рабочего канала	%	$\pm 0,002$
5	Выходная мощность	Вт	$(20-100)\pm 15$
6	Сигнал опорной фазы	Гц	9960 ± 100
7	Сигнал переменной фазы	Гц	$30\pm 0,03$
8	Сигнал опознавания: - соответствие кода; - частота; - период повторения посылок, не более	Гц сек	2-3 буквы 1020 ± 50 30 ± 3
9	Пределы срабатывания допускового контроля: - отклонение азимута; - отклонение коэффициента АМ несущей сигналами опорной и переменной фазы; - отказ аппаратуры контроля; - пропадание сигнала опознавания	градус % - -	± 1 ± 15 -

Расчет методической погрешности измерения угла (азимута) за счет влияния переотражающего объекта можно провести по формуле [3]:

$$\Delta A = K_{\text{отр}} \cdot \cos \psi \sin A - A_{\text{п.о.}} \quad , \quad (14)$$

где $K_{\text{отр}}$ - коэффициент отражения Френеля ($0 \div 1$); ψ - разность фаз между сигналом прямым и переотраженным; $A, A_{\text{п.о.}}$ - азимуты прямого сигнала и переотраженного (рис.2).

В выражении (14) присутствует быстроменяющийся сомножитель, характеризующий изменение разности фаз между прямым и переотражаемым сигналом. В подобных случаях необходимо усреднить выражение (14) по параметру ψ .

Закон распределения случайной величины ψ можно задать равномерный, т.е. распределенный по закону

$$W \psi = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} & \text{при } 0 \leq \psi \leq 2\pi \\ 0 & \text{при других } \psi \end{cases} .$$

Возведя (14) в квадрат и проведя усреднение, получаем

$$\sigma_A^2 = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi} K_{\text{отр}}^2 \cos^2 \psi \sin^2 A - A_{\text{по}} d\psi. \quad (15)$$

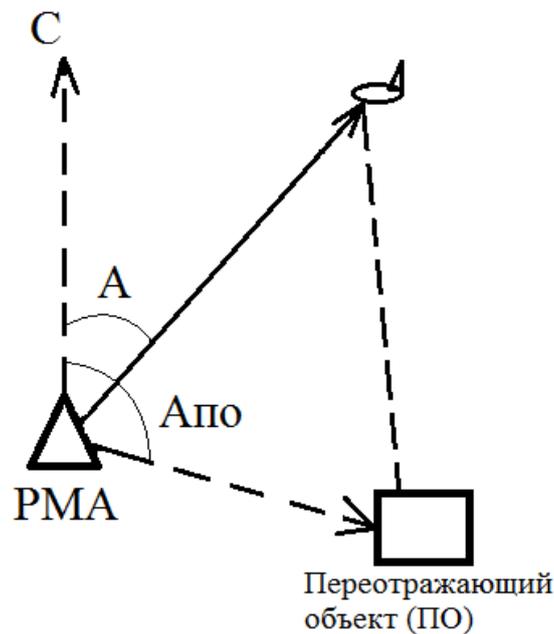


Рис.2

Интеграл (15) легко берется, если использовать зависимость

$$\cos^2 \psi = \frac{1 + \cos 2\psi}{2}.$$

Задания и вопросы

1. Какой принцип заложен в работу азимутального радиомаяка?
2. Каковы основные тактико-технические характеристики азимутального радиомаяка (точность измерения, зона действия, надежность, рабочий диапазон частот, мощность излучения)?
3. Нарисуйте обобщенную структурную (функциональную) схему оборудования азимутального радиомаяка.
4. Каковы основные особенности схемных решений азимутального радиомаяка?
5. Какие основные факторы влияют на точность измерения азимута с помощью азимутального радиомаяка?
6. Чем определяется потенциальная точность измерения азимута с помощью азимутального радиомаяка?

7. Проведите усреднение формулы (14) и определите выражение для среднеквадратической погрешности измерения азимута за счет влияния переотраженного сигнала.

Раздел 10. Обоснование ТТХ дальномерного радиомаяка системы DME.

РМА (VOR) может объединяться с дальномерным радиомаяком РМД (DME). В этом случае при наличии на борту ВС соответствующей аппаратуры определяется положение ВС в системе полярных координат «азимут – дальность».

Радиомаяк дальномерный РМД (DME) предназначен для обеспечения измерения на борту ВС его отклонения от места установки наземного оборудования при заходе на посадку, взлете и уходе на второй круг и маневрирования в зоне аэродрома.

Радиомаяки являются наземным оборудованием азимутально-дальномерной системы навигации ВС и рекомендованы ИКАО в качестве основного средства ближней навигации в авиатрассах в качестве дополнительного средства обеспечения захода на посадку и посадки ВС гражданской авиации.

Основные характеристики РМД

Таблица 10

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	Стабильность частоты рабочего канала	%	$\pm 0,002$
2	Длительность импульса	мкс	$3,5 \pm 0,5$
3	Время нарастания импульса	мкс	3
4	Время спада импульса, не более	мкс	3,5
5	Пределы срабатывания допускового контроля при: - изменении кодового интервала импульсов; - уменьшении мощности; - задержке импульсов; - отказах контрольного устройства	Мкс дБ мкс -	12 ± 1 3 1,0 – навигация 0,5 – посадка
6	Зона действия: - навигационный режим; - посадочный режим	-	не менее зоны действия РМА не менее зоны действия РМС

7	Ошибка измерения дальности приемоответчика, не более - навигационный режим; - посадочный режим	М	150
		М	75

К современным видам дальномерных радиомаяков с различными тактико-техническими характеристиками можно отнести РМД-90, DVOR-2000, DME-2000.

Задания и вопросы

1. Какой принцип заложен в работу дальномерного радиомаяка?
2. Каковы основные тактико-технические характеристики дальномерного радиомаяка (точность измерения, зона действия, надежность, рабочий диапазон частот, мощность излучения)?
3. Нарисуйте обобщенную структурную (функциональную) схему оборудования дальномерного радиомаяка.
4. Каковы основные особенности схемных решений дальномерного радиомаяка?
5. Какие основные факторы влияют на точность измерения дальности с помощью дальномерного радиомаяка?
6. Чем определяется потенциальная точность измерения дальности с помощью дальномерного радиомаяка?

Раздел 11. Расчет параметров радиовысотомеров малых высот.

Как известно из теории работы радиовысотомеров (РВ) [3] информационным параметром радиовысотомера является разностная частота F_p :

$$F_p = |f_{изл} - f_{прм}|,$$

где $f_{изл}$ и $f_{прм}$ - частоты излучаемого и принимаемого сигналов.

Преобразованный сигнал – сигнал разностной частоты.

Выражение, связывающее информационный и навигационный параметры имеет вид:

$$H = \frac{cT_m}{8\Delta f} F_p,$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, Δf - девиация частоты, T_m - период модуляции.

Длина волны определяется из соотношения:

$$\lambda = \frac{d_a \sin \varphi_a}{1,029},$$

где d_a - размер апертуры антенны, φ_a - ширина диаграммы направленности.

Девиация частоты находится по следующей формуле:

$$\Delta f = \frac{c}{4H_0},$$

где $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, H_0 - дискрет по высоте.

Задания и вопросы

1. Какой метод положен в основу работы радиовысотомеров, применяемых в гражданской авиации?
2. Где используются радиовысотомеры?
3. Что называется разностной частотой?
4. Приведите формулу для масштабного коэффициента.
5. Напишите основное уравнение радиовысотомера.
6. Определить неэнергетические параметры зондирующего сигнала (длину волны, девиацию частоты) и разностную частоту преобразованного сигнала, предназначенного для измерения высот от 7 м до 700 м, если известны следующие данные: диаметр апертуры антенны радиовысотомера $d_a = 0,15 \text{ м}$, ширина диаграммы направленности антенны $\varphi_a = 20^\circ$, дискрет по высоте $H_0 = 1,4 \text{ м}$, период модуляции $T_m = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ с}$.

12. Расчет параметров доплеровских измерителей скорости

Расчёт параметров доплеровских измерителей скорости

Доплеровский сдвиг частоты (доплеровская частота):

$$F_D = -\left(\frac{2V \cos \gamma}{\lambda}\right) = -\frac{2V_r}{\lambda},$$

где V - скорость ЛА; λ - длина волны сигнала, излучаемого ДИС; γ - угол между вектором скорости V и направлением прихода отражённого сигнала, V_r - радиальная скорость.

Для двухлучевого ДИСС:

$$F_{D_1} = \frac{2V_r}{\lambda} \cos \Gamma_0 - \beta \zeta \cos B_0,$$

$$F_{D_2} = \frac{2V_r}{\lambda} \cos \Gamma_0 + \beta \zeta \cos B_0,$$

где

B_0 - установочный угол лучей в вертикальной плоскости,

Γ_0 - установочный угол лучей в горизонтальной плоскости,

β - угол сноса.

Задания и вопросы

1. Как различаются ДИСС по виду излучаемых колебаний?
2. Что называется доплеровским сдвигом частоты?
3. Почему установочные углы лучей в вертикальной и горизонтальной плоскости должны выдерживаться строго постоянными?
4. Объясните принцип действия трёхлучевого ДИСС.
5. Как различаются ДИСС по виду излучаемых колебаний?
6. Найти угол сноса и скорость ВС, измеренные двухлучевым ДИСС, если значения доплеровских частот 8796Гц и 7962Гц , $B_0 = 60^\circ$, $\Gamma_0 = 25^\circ$, длина волны $\lambda = 3\text{ см}$.

Литература

1. Сборник задач по курсу Радионавигационные системы под редакцией П.А. Бакулева и А.А. Сосновского, изд. М: «Радиотехника», 2011 г.
2. Нечаев Е.Е., Будыкин Ю.А. Антенные устройства в гражданской авиации. Изд. «Пресс-факт», 2005 г.
3. П.А. Бакулев, А.А. Сосновский Радионавигационные системы. Учебник для вузов. М.: Радиотехника 2011 г. -272 с.

Содержание

Введение	3
Раздел 1. Обоснование ТТХ приводных радиостанций (ПРС).	4
Раздел 2. Обоснование ТТХ маркерных радиомаяков.	7
Раздел 3. Обоснование ТТХ автоматических радиоконпасов.	10
Раздел 4. Расчет величины сигнала в рамочной антенне АРК.	12
Раздел 5. Обоснование ТТХ автоматических радиопеленгаторов.	13
Раздел 6. Расчет параметров курсового радиомаяка.	16
Раздел 7. Расчет параметров глиссидного радиомаяка.	19
Раздел 8. Обоснование ТТХ бортовой посадочной аппаратуры.	22
Раздел 9. Обоснование ТТХ азимутального радиомаяка системы VOR.	24
Раздел 10. Обоснование ТТХ дальномерного радиомаяка системы DME.	27
Раздел 11. Расчет параметров радиовысотометров малых высот.	28
12. Расчет параметров доплеровских измерителей скорости.	29