

Институт Транспорта и Связи
Заочное отделение

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине
«ОСНОВЫ РАДИОНАВИГАЦИИ»

Темы:

«Место воздушного судна»
«Среднеквадратичный критерий рабочей зоны угломерных систем»
«Система ближней навигации DME»

Выполнил: ст. Козлов С.А.

19 января 2001 г.

Проверил: доц. Поздняков А.

Рига 2001

1. Место воздушного судна

Местоположение воздушного судна (Место Летательного Аппарата) – это проекция центра тяжести Летательного Аппарата (ЛА) на земную поверхность. Местоположение ЛА определяется координатами, отсчитываемыми в той или иной системе геоцентрических координат (геосферических, ортодрометрических, декартовых, полярных), например, широтой, долготой, линейными координатами, или полярными координатами – дальностью, азимутом, углом места [Л.1].

2. Среднеквадратичный критерий рабочей зоны угломерных систем

Рабочей зоной (областью) РНС – называется часть пространства, в пределах которого погрешность определения навигационных параметров с использованием системы (и соответствующая погрешность определения линий, поверхностей положения или местоположения объекта) не превышает с выбранной вероятностью заданного значения [Л.1].

При построении рабочей зоны РНС определяют значение области Q пространства (x, y, z), в пределах которого погрешность измерения параметров не превышает (с заданной вероятностью) выбранного, например среднеквадратичного, значения. Для этого используют обычно соотношение

$$\sigma_r = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{a1}}{|g_1|}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{a2}}{|g_2|}\right)^2} + 2\rho \frac{\sigma_{a1}\sigma_{a2}}{|g_1||g_2|} \cos \gamma, \quad (2.1)$$

на основе которого может быть построено семейство кривых, соответствующих постоянному значению σ_r при заданных значениях σ_{a1} и σ_{a2} (кривых равной точности). Поскольку размеры рабочей зоны определяются также дальностью действия системы и диаграммами направленности ее антенн в горизонтальной и вертикальной плоскостях, эти характеристики также должны быть учтены при построении рабочих зон конкретных типов РНС.

При использовании угломерного метода оценка местоположения ЛА осуществляется по пеленгам двух наземных радионавигационных точек А и В, разнесенных на величину базы d (рис. 2.1).

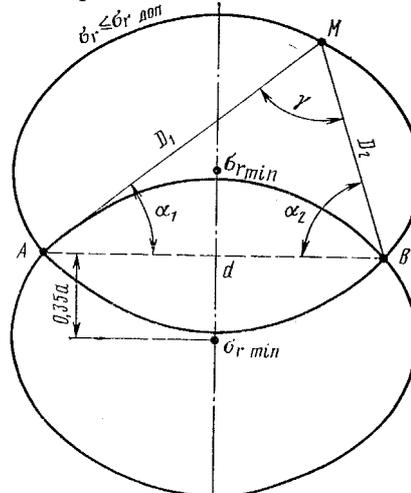


Рис. 2.1. Рабочая зона угломерной РНС

При независимости измеряемых радиопеленгов для данного случая из соотношения (2.1) с учетом равенства [9.8, Л.1] погрешность местоположения объекта

$$\sigma_r = \frac{0,017}{\sin \gamma} \sqrt{D_1^2 \sigma_{\alpha 1}^2 + D_2^2 \sigma_{\alpha 2}^2}. \quad (2.2)$$

где D_1, D_2 — дальности от ЛА до радионавигационных точек A и B ;
 $\sigma_{\alpha 1}, \sigma_{\alpha 2}$ — среднеквадратичные погрешности радиопеленгов по двум РНТ.

В частном случае, когда $\sigma_{\alpha 1} = \sigma_{\alpha 2} = \sigma_{\alpha}$,

$$\sigma_r = \frac{0,017 \sigma_{\alpha}}{\sin \gamma} \sqrt{D_1^2 + D_2^2}. \quad (2.3)$$

Для определения границ рабочей зоны необходимо построить кривую равной точности, в любой точке которой $\sigma_r = \sigma_{r \text{доп}}$. Для этого преобразуем соотношение (2.2) с учетом того, что согласно рис. 2.1 $\gamma = 180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2)$ и

$$D_1 = \frac{d \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad D_2 = \frac{d \sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}.$$

Подставив найденные значения D_1 и D_2 в формулу (2.3), получим

$$\sigma_r = k d \sigma_{\alpha}, \quad (2.4)$$

$$\text{где } k = 0,017 \frac{\sqrt{\sin^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_2}}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (2.5)$$

Коэффициент k в формуле (2.4) при известных значениях α_1 и α_2 определяется по специальным вспомогательным таблицам [Л.3], используемым при построении рабочих зон РНС. Такое построение производится обычно исходя из заданных значений d, σ_{α} , и σ_r , согласно которым из формулы (2.4) находят коэффициент k , а затем по таблицам — соответствующие ему значения α_1 и α_2 . Пересечение вспомогательных линий, проведенных под углами α_1 и α_2 , дает точки $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$, принадлежащие кривой заданной точности.

На рис. 2.1 приведен вид рабочей зоны угломерной РНС, построенной с помощью указанной методики. Определим минимальное значение погрешности оценки местоположения в пределах рассматриваемой рабочей зоны. Для этого положим в соотношении (2.3) $D_1 = D_2 = D$, а вместо D запишем его значение в виде $D = d/2 \sin 0,5\gamma$.

Тогда соотношение (2.3) можно представить как

$$\sigma_r = \frac{0,017 \sigma_{\alpha}}{\sin \gamma \sin \frac{\gamma}{2}}. \quad (2.6)$$

Для получения минимального значения σ_r приравняем нулю его производную по углу γ , т. е. $1/\sin \gamma \sin(\gamma/2) = -0,5 \cos(\gamma/2) \sin \gamma - \cos \gamma \sin(\gamma/2) = 0$, откуда $\text{tg} \gamma = 2 \text{tg}(\gamma/2)$ и $\gamma = 109^\circ 28'$.

Найденному значению угла γ соответствуют две точки в рабочей области угломерной РНС, расположенные симметрично на перпендикуляре, проведенном через середину базы (см. рис. 2.1) и на расстоянии $0,35d$ от нее.

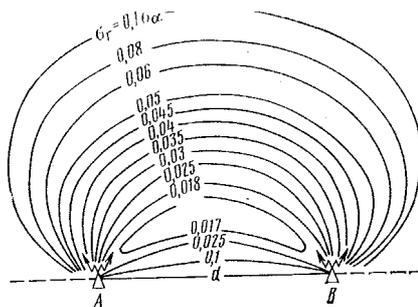


Рис. 2.2. Шаблон кривых равной точности угломерной РНС

В практике расчетов построения рабочих зон угломерных РНС обычно используют шаблоны (рис. 2.2) с кривыми постоянных значений k . Если заданы значения σ_r , σ_α и $d = 10$ см, то непосредственно по шаблону можно путем интерполяции построить кривую равной точности.

Если, например, нужно построить рабочую область для системы с $d = 200$ км; $\sigma_\alpha = 1^\circ$ и $\sigma_r = 11$ км, то значение k , вычисленное из соотношения (2.4), равно 0,052. Производя интерполяцию между кривыми, соответствующими значениям $k_1 = 0,005$ и $k_2 = 0,06$, построим искомую кривую. Для перенесения полученной кривой на карту необходимо учесть масштаб чертежа, который при заданных значениях параметров для рассматриваемого примера составляет 1 : 2 000 000. Кроме кривых равной точности, на шаблоне иногда указывают также расположение и размеры эллипсов погрешностей для нескольких точек рабочей области, что позволяет получить общее представление о распределении погрешностей оценки местоположения по различным направлениям.

3. Система ближней навигации DME

Система ближней навигации DME (Distance Measurement Equipment - Оборудование Измерения Дальности).

Система DME принята в качестве стандартной системы ближней навигации ICAO в 1953 году. Системе DME выделен диапазон частот от 960 до 1215 МГц.

Нормами ICAO установлена погрешность измерения дальности системой DME – 370 м (0,2 ММ) или 0,25 % D, что больше. Погрешность, вносимая наземным радиомаяком, ограничена 150 м, а погрешность, вносимая бортовым оборудованием системы – 315 м или 0,25 % D.

3.1. Измеряемый навигационный параметр в системе DME

В системе DME измеряется наклонная дальность D_n между ВС и наземным радиомаяком (см. рис. 4.18 Л.2).

В навигационных расчетах используется горизонтальная дальность $D = (D_n^2 - H_c^2)^{1/2}$, где H_c – высота полета самолета.

Если в качестве горизонтальной дальности использовать наклонную, т.е. считать, что $D = D_n$, то возникает систематическая погрешность $\Delta D = H_c^2 / 2D_n$. Она проявляется на малых дальностях, но практически не сказывается на точности измерений при $D_n \geq 7H_c$.

3.2. Навигационное применение системы DME

Система DME при совместном размещении с системой VOR образует систему VOR/DME. Система VOR/DME используется для коррекции численных координат ВС.

Задача коррекции численных координат ВС может быть решена при использовании информации от двух наземных маяков DME (см. рис. 4.19 Л.2). Система DME/DME позволяет определить место ВС, при наличии априорной информации о положении ВС. При отсутствии такой информации необходимо произвести измерения дальности еще до одного наземного дальномера.

При использовании с системой посадки ILS, радиомаяк DME совмещается с глиссадным радиомаяком выполняет и роль дальномерной подсистемы. Необходимость в этом возникает при автоматизации процесса посадки. Система ILS позволяет получить на борту ВС информацию об угловом отклонении от глиссады, в то время как системе автоматического управления необходима информация о линейном отклонении от заданного направления.

В составе системы посадки MLS в качестве дальномерной подсистемы используется система DME/P.

3.3. Принцип действия системы DME

По принципу действия система DME относится к системам с принудительной синхронизацией. Принцип работы системы поясняется структурной схемой, представленной на рис. [4.20 Л.2], и временными диаграммами, приведенными на рис. [4.21 Л.2].

Синхронизация работы системы осуществляется с помощью генератора G, периодически запускающего бортовой передатчик и измеритель временного интервала. Период повторения запускающих импульсов равен T_p . Передатчик формирует высокочастотный импульсный сигнал на частоте f_3 , который излучается через ненаправленную антенну W1. Для повышения помехозащищенности вместо одного импульса в системе используют кодовую посылку из двух импульсов запроса с временным интервалом между импульсами $\tau_{к1}$. Задержанная на время $t_D = D_H/C$, где D_H – наклонная дальность, C – скорость распространения электромагнитных волн, высокочастотная кодовая посылка принимается антенной W3 наземного радиомаяка, усиливается, детектируется и формируется по амплитуде и длительности в приемнике наземного радиомаяка. В приемнике осуществляется также кодовая селекция сигналов, выделяющая сигналы с заданным кодом.

Импульсы с выхода приемника задерживаются в блоке задержки на время t_3 и через блок ограничения подаются на передатчик наземного радиомаяка. В передатчике формируют двухимпульсные посылки с кодовым интервалом $\tau_{к2}$ на частоте $f_{отв}$, которые излучаются через ненаправленную в горизонтальной плоскости передающую антенну W4.

Ответные сигналы радиомаяка принимаются бортовым приемником. В приемнике осуществляются усиление, детектирование, формирование по амплитуде и длительности и декодирование ответных сигналов. Импульсы с приемника подаются на измеритель временного интервала (измеритель дальности) между импульсом запуска генератора G и ответным импульсом. Измеряемый временной интервал равен $t_i = 2t_D + \tau_{к1} + \tau_{к2} + t_3 + t_{пп}$, где $t_{пп}$ – задержка в приемопередающих трактах запросчика и ретранслятора.

Дополнительная задержка $\tau_{к1} + \tau_{к2} + t_3 + t_{пп}$ называется задержкой в наземном устройстве $t_{зну}$.

Выражение для определения дальности можно представить в виде $D_n = C \cdot (t_n - t_{зну})/2$.

При поддержании постоянства $t_{зну}$ это выражение можно представить в виде $D_n = D_n - D_{зну}$. Определенная на основе этого выражения дальность выдается на индикаторы.

Введение блока задержки позволяет не только учесть задержки, возникающие в трактах запросчика и ретранслятора, но и позволяет обеспечить измерение малых дальностей. Поскольку в момент излучения импульсных сигналов входы приемников бланкируются, то при отсутствии блока задержки это исключает прием запросчиком сигналов при нулевой и малой дальности. Введение задержки в ретрансляторе позволяет устранить этот недостаток.

Наземный радиомаяк должен передавать ответные сигналы всем самолетным запросчикам, находящимся в зоне его действия. В общем случае число ВС, одновременно работающих с наземным радиомаяком, случайно. Необходимо принимать меры для исключения перегрева передатчика наземного радиомаяка при значительном увеличении числа запросчиков. С этой целью в состав радиомаяка введен блок ограничения загрузки.

В системе DME используется метод ограничения загрузки с постоянной средней мощностью передатчика. Средняя мощность передатчика определяется выражением:

$$P_{cp} = P_n \cdot \tau_n \cdot F_{cp},$$

где P_n – мощность в импульсе, τ_n – длительность импульса, F_{cp} – средняя частота повторения импульсов передатчика ретранслятора.

Метод ограничения загрузки с постоянной средней мощностью передатчика характеризуется постоянством P_{cp} и F_{cp} . Это достигается запуском передатчика наземного радиомаяка шумовым сигналом при отсутствии запросных сигналов. По мере увеличения числа запросчиков в зоне маяка блок ограничения загрузки уменьшает количество шумовых сигналов, запускающих передатчик в единицу времени, что обеспечивает постоянство F_{cp} и P_{cp} (см. рис. 4.22). При $N=N_0$ передатчик запускается только запросными сигналами. При дальнейшем увеличении N действие АРУ приемника маяка, по снижению мощности всех запросных сигналов, приводит к тому, что уровень сигнала от наиболее удаленных ВС становится недостаточным для запуска передатчика радиомаяка.

Важным параметром системы является коэффициент ответа, который характеризует вероятность получения ответного сигнала дальномером при излучении запросного сигнала. На рис. [4.22 Л.2] показан график изменения коэффициента ответов в системе DME. Как видно из графика, даже при $N=1$ значение коэффициента ответа меньше единицы, а при числе запросчиков больше N_0 коэффициент ответа для дальних ВС резко уменьшается. Допустимое уменьшение коэффициента ответа определяет пропускную способность системы с принудительной синхронизацией, т.е. максимальное число одновременно обслуживаемых самолетов. По требованиям ICAO при коэффициенте ответа $\geq 0,5..0,7$ пропускная способность системы DME должна быть равна 100.

3.4. Сигналы, излучаемые в системе DME

Система DME работает в диапазоне частот 962..1213 МГц на одном из 252 канале передачи и канале приема. Разнос по частоте между каналами

передачи и приема на борту и на земле равен 63 МГц. Разнос частот соседних каналов составляет 1 МГц.

Направление «Борт – Земля»

В направлении «Борт – Земля» на одном из 252 частотно-кодовых каналов излучается запрос дальности, представляющий собой двухимпульсную кодовую посылку. Частота следования импульсов запроса дальности при работе бортового оборудования системы в режиме поиска ≤ 150 Гц, а при работе в режиме сопровождения ≤ 30 Гц. Импульсы запроса дальности имеют длительность 3,5 мкс по уровню $0,5U_m$, длительность фронта и среза импульсов 2,5 мкс. Огибающая импульсов колоколообразной формы.

В системе DME используются два кодовых интервала между импульсами запроса дальности: в канале X – 12 мкс, в канале Y – 36 мкс. В направлении «Борт – Земля» имеется 126 частотных каналов. На каждом частотном канале могут использоваться два кодовых интервала, что позволяет получить 126 X каналов и 126 Y каналов.

Направление «Земля – Борт»

В направлении «Земля – Борт» наземный радиомаяк DME излучает 2700 пар импульсов в секунду. На одном из 252 частотно-кодовых каналов излучаются ответы дальности (свои и чужие) и случайные импульсные сигналы в виде двухимпульсных кодовых посылок. Форма импульсов соответствует форме импульсов запроса дальности.

В системе используют два кодовых интервала между импульсами ответа дальности и случайными импульсными сигналами: в канале X – 12 мкс; в канале Y – 30 мкс. В направлении «Земля – Борт» имеются 252 частотных канала. На каждом частотном канале используется только один кодовый интервал, что дает 126 X каналов и 126 Y каналов.

В направлении «Земля – Борт» с периодичностью 30 с излучается также сигнал опознавания. Сигнал опознавания представляет собой двух импульсные посылки с частотой 1350 пар импульсов в секунду, модулированные кодом Морзе.

Принцип формирования каналов связи в системе DME поясняется рис. [4.23 Л.2]. Связь каналов DME с частотами другого навигационного оборудования иллюстрируется таблицей 4.1.

Таблица 4.1

Каналы DME	С каким оборудованием связан	Частоты навигационного оборудования
1 - 16	Не связанные каналы	134,4 - 135,9 МГц
17 - 56	ILS / VOR	108,0 - 112,0 МГц
60 - 59	Не связанные каналы	133,0 - 134,2 МГц
57,58,59,70 -126	VOR	112,0 - 117,9 МГц

3.5. Выделение навигационной информации на борту ВС

Все самолеты запрашивают радиомаяк DME на одном частотно-кодовом канале и всем самолетам радиомаяк отвечает также на одном частотно-кодовом канале. Другими словами, любой из самолетных запросчиков будет принимать ответные сигналы других запросчиков. Как отличить ответный сигнал на собственный запросный сигнал от ответа другим запросчикам?

Единственным признаком, характеризующим собственный ответный сигнал, является регулярный приход этого сигнала на одной и той же временной позиции относительно каждого запросного сигнала. Медленное изменение временной позиции «своего» ответного импульса может быть вызвано перемещением ВС, приводящим к изменению дальности до маяка. Ввиду несинхронной работы генераторов, запускающих бортовые передатчики, «чужие» ответные сигналы будут быстро менять свое временное положение относительно синхроимпульса данного измерителя дальности (см. рис. 4.24 Л.2). «Чужие» ответные импульсы по отношению к данному измерителю будут представлять собой несинхронные импульсные помехи. Следовательно, процессу измерения временной задержки в измерителе временного интервала должен предшествовать поиск своего ответного импульса на фоне несинхронных импульсных помех.

Для выделения навигационной информации на борту ВС необходимо выполнить первичную и вторичную обработку сигналов. Первичная обработка включает в себя:

- прием;
- усиление и частотную селекцию сигналов;
- детектирование сигналов;
- кодовую селекцию сигналов.
- Вторичная обработка сигналов предполагает:
- поиск, захват и обнаружение своего ответного импульса;
- измерение временного интервала (дальности).

Рассмотрим несколько более подробно вторичную обработку информации.

Вторичная обработка информации производится в измерителе дальности. Упрощенная структурная схема такого измерителя представлена на рис. [4.25 Л.2]. В этом измерителе используется компенсационный метод измерения, суть которого состоит в создании задержки запросного импульса равной временной задержке ответного импульса дальности.

Для выделения своего ответного импульса дальности (ОИД) на фоне «чужих» ответов в измерителе предусмотрен режим поиска и обнаружения, базирующийся на принципе десинхронизации. Для сопровождения своего ОИД и измерения дальности предусмотрен режим сопровождения.

Режим «Поиск»

В этом режиме с помощью ключа S1 на вход интегратора подается сигнал "Поиск", который представляет собой постоянное напряжение. Напряжение на выходе интегратора будет линейно меняться (сигнал 4 рис. [4.26 Л.2]). Пропорционально этому с помощью устройства временной задержки (УВЗ) будет меняться задержка сигналов 1 и 2 относительно импульса запроса (ИЗ).

Сигнал 2, называемый контрольным стробом, подается на обнаружитель. На второй вход этого обнаружителя поступают свои ОИД и «чужие» ОИД. Обнаружение «своего» ОИД на фоне несинхронных помех осуществляется по критерию «k из n», т.е. ответные импульсы считаются обнаруженными и устройство переходит в режим «слежение», когда из n запросов и n ожидаемых совпадений ОИД с контрольным стробом за одной временной позиции будет обнаружено более k совпадений. Временные диаграммы поясняют работу измерителя в режиме «Поиск» при обнаружении по критерию «2 из 3».

Начиная с третьего цикла устройство переходит в режим «Слежение» и задержка контрольного строба будет определяться сигналом с выхода временного различителя.

Если при просмотре всего временного интервала полезный сигнал не обнаружен, интегратор сбрасывается в нулевое состояние и поиск повторяется.

Для сокращения времени поиска необходимо частоту запросных импульсов увеличивать. В режиме «Слежение» частоту запросных импульсов уменьшают для уменьшения загрузки наземного радиомаяка.

Режим «Слежение»

В этом режиме на интегратор подается сигнал ошибки 3 (см. рис. [4.26 Л.2]), выработанный временным различителем, последний можно рассматривать как перемножитель входных сигналов. Напряжение на выходе интегратора управляет временной задержкой до тех пор, пока сигнал ошибки не станет равен 0. В этом случае $t_3 = t_D$.

При пропадании ответных импульсов на временной позиции, определяемых контрольным стробом, измеритель переходит в режим «Поиск». Однако переходу в режим «Поиск» предшествует некоторая задержка, называемая временем памяти, а соответствующий переходный режим - режимом «Память». Это позволяет исключить влияние местных предметов, затенение которыми может приводить к кратковременному пропаданию ответных импульсов дальности. Если ответные импульсы вновь появляются и совпадают с контрольным стробом до истечения времени памяти, то измеритель вновь переходит в режим «Слежение».

3.6. Особенности системы DME/P

Как уже отмечалось, система DME/P используется в качестве дальномерной подсистемы в системе посадки типа MLS.

Основные особенности системы DME/P:

- повышена точность. В опорной точке суммарная погрешность не превышает 30 м (2σ);
- зона действия маяка ограничена 37 км, что позволило увеличить отношение сигнал/шум;
- введены два режима работы «IA» и «FA». Режим IA (Initial Approach) используется на удалении 37 – 14,3 км от точки посадки. Режим FA (Final Approach) – от 14,3 км до точки приземления. В режиме FA используются импульсы с более крутым передним фронтом: длительность фронта 1,6 мкс. Частота следования запросных импульсов при работе бортового оборудования в режиме «Слежение» равна 40 пар импульсов в секунду. В режиме IA – 16 пар импульсов в секунду;
- увеличено число частотно-кодовых каналов, за счет введения дополнительных кодовых интервалов (канал W и Z);
- уменьшена частота запросных импульсов при работе бортового оборудования в режиме «Поиск» до 40 пар импульсов в секунду. При рулении и стоянке число запросных импульсов равно 5 пар импульсов в секунду;
- в системе используется широкополосная обработка сигналов;
- в бортовом оборудовании применяются точные пороговые схемы.

4. Заключение

Стандартизация системы DME обуславливает обязательное её использование в системах обеспечения аэропортов, в тоже время современные технологии и опыт эксплуатации подобных систем создают базу для развития и совершенствования. В частности Челябинский радиозавод «Полет» освоил выпуск современной «Радиолокационная система ближней навигации с международным форматом сигналов VOR/DME/N „PMA-90/PMД-90“» [Л.4] [Л.5]

5. Литература

1. Белявский Л. С., Новиков В. С., Олянюк П. В. Основы радионавигации: Учебник для вузов гражд. авиации. – М.: Транспорт, 1982. – с. 288.
2. Поздняков А. Конспект лекций по курсу «Основы радионавигации».
3. Одинцов В. А. Радионавигация летательных аппаратов. М., Машиностроение, 1968, 226 с.
4. <http://www.vimi.ru/radioprm.htm>
5. ПРОДУКЦИЯ РАДИОПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ВЫСТАВКЕ В ГОСДУМЕ, <http://www.radar.narod.ru/rdr-ap-ru.html>

1. МЕСТО ВОЗДУШНОГО СУДНА	2
2. СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫЙ КРИТЕРИЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ УГЛОМЕРНЫХ СИСТЕМ	2
3. СИСТЕМА БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ DME	4
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	10
5. ЛИТЕРАТУРА	11

19 января 2001 г.

/Козлов С.А./