

## **Р а з д е л  III**

# **РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ УДАРНЫХ И РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УДАРНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

## **Г л а в а  15**

### **ОСНОВНЫЕ РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ И ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ УДАРНЫХ И РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УДАРНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

#### **15.1.ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ УДАРНЫХ И РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УДАРНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

##### **1. Общие вопросы. Решаемые задачи**

Радиолокационные системы ударных авиационных комплексов предназначены решать целый ряд сложных и разнообразных задач, которые возникают в процессе выполнения боевого полета к цели и применения оружия. Рассмотрим перечень типовых задач.

*Полет к цели* по маршруту требует радиолокационного обеспечения полета, нахождения ориентиров, выполнения коррекции других навигационных систем по радиолокационным данным.

При подходе к линии боевого соприкосновения войск (к линии фронта, к побережью, занятому противником) возникает задача *преодоления зон ПВО* противника, что связано с возможным полетом на малых и предельно малых высотах. Такой полет в условиях плохой

оптической видимости не может быть эффективно осуществлен без радиолокационных систем обеспечения полета на малых и предельно малых высотах. После выхода ударного самолета к цели возникает задача *обнаружения и распознавания цели*, как правило, малоразмерной и малозаметной на фоне местности, а возможно и подвижной. В зависимости от вида оружия необходимо выполнить в том или ином виде прицеливание, ввести параметры сигналов для захвата наземной цели на автоматическое сопровождение, обеспечивающее требуемую точность прицеливания.

В ряде случаев на радиолокационные системы ударных комплексов возлагаются и другие задачи: предупреждение о метеорологической обстановке по маршруту полета, обеспечение полета в строю и др.

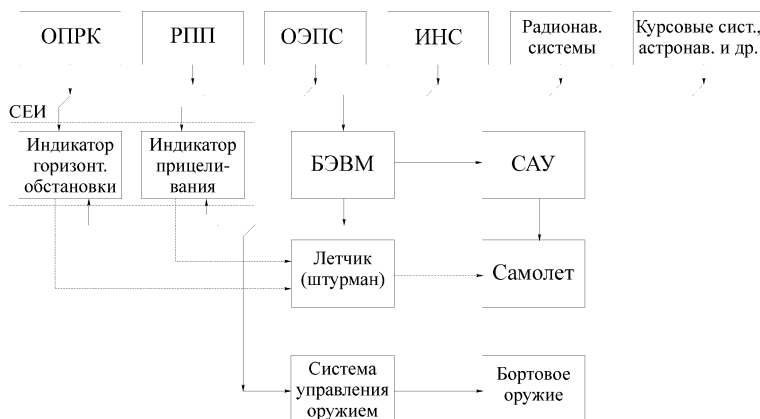


Рис. 15.1

При решении задач самолетовождения, а также и при прицеливании характерны две основные операции: определение положения ориентира или цели на поверхности земли относительно самолета и управление самолетом таким образом, чтобы в соответствии с положением цели или ориентира выйти в нужную точку. При самолетовождении такой точкой может быть промежуточный или конечный пункт маршрута полета, а при применении оружия – точка пуска ракет, сброса бомб или какого-либо груза (при применении в военно-транспортной авиации). Все необходимые данные о координатах

тах целей, ориентиров и параметрах полета определяются с помощью различных систем на борту самолета. Системы, решающие указанные задачи, образуют так называемый прицельно-навигационный комплекс (ПНК). В состав комплекса входят (рис.15.1): многофункциональные обзорно-прицельные радиолокационные комплексы (ОПРК), радиолокационные системы профильного полета (РПП), лазерные и оптико-электронные обзорно-прицельные системы (ОЭПС), навигационный комплекс в составе: инерциальных навигационных систем (ИНС), радиоаппаратуры ближней и дальней навигации, радиоаппаратуры спутниковых навигационных систем, астроориентаторы, доплеровские измерители путевой скорости и угла сноса, радиовысотомеры, курсовые системы (радиокомпасы, магнитные и гирокомпасы). В состав ПНК входит система единой индикации (СЕИ) и бортовые ЭВМ, обеспечивающие решение боевых задач и управление самолетом (через систему автоматического управления самолетом САУ). В зависимости от конкретной боевой задачи, этапа полета и условий, в которых выполняется полет, одновременно могут работать различные системы, обеспечивая взаимную коррекцию получаемой информации.

## 2. Режимы функционирования ОПРК

Обзорно-прицельный радиолокационный комплекс обеспечивает решение указанных выше задач и может работать в нескольких режимах, которые иногда называют режимами «воздух-поверхность», когда в качестве основного объекта наблюдения выступает поверхность земли (или моря) и различные цели на ее поверхности. В зависимости от конкретной решаемой задачи могут быть выделены следующие режимы работы радиолокационной системы:

Режим *получения радиолокационного изображения* поверхности земли (*картографирование поверхности*) реальным лучом. Обычно это режим некогерентного облучения поверхности импульсами с низкой частотой повторения. Как правило, сектор обзора в передней полусфере  $\pm 180^\circ$ . Разрешающая способность по дальности определяется длительностью импульса или, при применении сжатия ЛЧМ-импульсов, шириной спектра ЛЧМ-импульса. Разрешение по

азимуту  $\delta\varphi_{\text{аз}}$  формируется за счет ширины реальной диаграммы направленности (ДН) антенны РЛС, которую обозначим  $\theta_{\text{л}}$ . Тогда

$$\delta\varphi_{\text{аз}} = \theta_{\text{л}}. \quad (15.1)$$

Линейное разрешение по азимуту зависит от расстояния  $D$  до точки наблюдения

$$\delta l_{\text{аз}} = \theta_{\text{л}} D. \quad (15.2)$$

В этом режиме радиолокационное изображение (РЛИ) формируется на экранах индикаторов в координатах «дальность-азимут».

*Получение радиолокационного изображения ограниченного участка местности (режим микроплана местности МП).* Центр РЛИ соответствует выбранной точке на поверхности земли. В этом режиме разрешение устанавливается в зависимости от масштаба и способа получения изображения.

*Режимы высокого разрешения при обзоре поверхности.* Для повышения разрешения по угловым координатам применяются способы «доплеровского обострения луча» (ДОЛ) или радиолокационное синтезирование апертуры (РСА). Разрешение в этом режиме значительно выше, чем величина, определяемая формулами (15.1) и (15.2). Информация на экранах индикаторов представляется обычно либо в виде радиально-секторного радиолокационного отображения поверхности, либо в микроплане.

Следует заметить, что при РСА возможно представление РЛИ в виде полосовой карты местности с координатами «дальность продольная – дальность поперечная». Во всех случаях обзора поверхности возможен режим «замораживания» РЛИ для повышения скрытности работы РЛС. Полученное РЛИ «запоминается» и на экране индикатора телевизионного типа непрерывно повторяется.

*Обзор поверхности моря.* Ввиду ряда особенностей отражения радиоволн от поверхности моря и наличия малоразмерных морских целей наблюдение целей на поверхности моря выделяется обычно в виде отдельного режима работы ОПРК. В перспективных РЛС в этом режиме могут использоваться специальные методы получения РЛ изображений морских целей (методы «инверсного радиолокационного синтезирования апертуры» (ИРСА)).

*Режим облета и обхода наземных препятствий* (режим «профильного полета» на малых и предельно малых высотах). В этом режиме РЛС измеряет не только расстояния до поверхности земли и азимут, но и угол наклона (угол места) точек на поверхности земли. В результате получают информацию о рельефе местности (находятся распределение высот точек на поверхности земли относительно плоскости полета самолета).

*Режим обнаружения и сопровождения одиночных и движущихся целей* на поверхности земли. Как правило, вводится селекция движущихся целей (СДЦ) и сопровождение этой одиночной цели.

*Режим измерения расстояния до поверхности земли* по заданному направлению при прицеливании на этапе применения бортового оружия.

### **3. Роль и место обзорно-прицельных радиолокационных комплексов при решении боевых задач**

Рассмотрим кратко роль ОПРК при решении ряда характерных задач на различных этапах боевого полета.

*Самолетовождение. Полет по маршруту.* Радиолокационные системы при самолетовождении обеспечивают получение радиолокационного изображения поверхности земли, создавая «карту», необходимую для ориентировки при полете по маршруту, а также для коррекции текущих координат местоположения самолета при применении других основных типов навигационных систем. Например, при использовании инерциальных навигационных систем осуществляется счисление текущих координат самолета. Однако в процессе полета накапливаются ошибки счисления, которые могут быть достаточно большими – порядка нескольких километров за час полета. Точность счисления текущих координат самолета зависит от ошибок навигационных измерителей. Для непрерывного поддержания высокой точности определения координат самолета необходимо вводить корректировку координат и вводить соответствующие поправки в навигационные системы. Радиолокационные системы позволяют выполнить такую корректировку по известным координатам радиолокационных ориентиров (РО). При подготовке к полету координаты характерных ориентиров вводятся в память бортовой навигаци-

онной ЭВМ. При обнаружении на экране индикатора радиолокационного ориентира РО включается режим коррекции. При этом от бортовой ЭВМ поступают координаты этого РО, которые преобразуются в расстояние до РО и его азимутальное положение. Соответствующая метка РО выносится на экран индикатора РЛС (рис. 15.2), например, в виде перекрестия продольной и поперечной меток. Различие в координатах РО и данных от ЭВМ ( $\Delta D$  и  $\Delta \varphi$ ), которое обусловлено ошибками счисления пути, вводится в ЭВМ и дальнейшее счисление координат осуществляется уже относительно скорректированных значений координат РО.

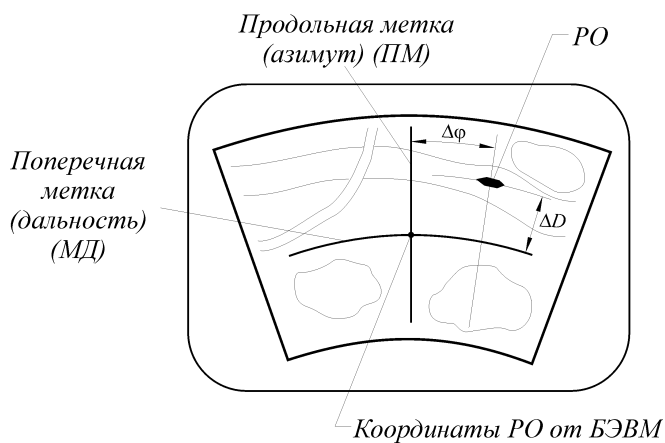


Рис. 15.2

*Задача прицеливания при нанесении удара по наземным целям.* В зависимости от вида оружия методика прицеливания и алгоритмы решения задачи прицеливания могут быть различными. Однако общим во всех случаях является получение изображения района цели или самой цели, или же радиолокационного ориентира, положение которого привязано к цели. Радиолокационные системы ОПРК на этапе прицеливания решают эту задачу, что очень важно при отсутствии оптической видимости и в сложных метеоусловиях.

Рассмотрим задачу прицеливания на примере бомбометания неуправляемыми бомбами с горизонтального полета. Схема прицеливания приведена на рис. 15.3. Величина  $\Delta$  – отставание бомбы (это

параметр, который входит в состав баллистических характеристик бомбы);  $T$  – характеристическое время падения бомбы с определенной высоты;  $W$  – путевая скорость полета самолета;  $V$  – воздушная скорость;  $U$  – скорость ветра. Линия  $EE'A$  называется линией разрывов, на которую падали бы бомбы, если их бросать непрерывно в процессе полета самолета по траектории  $OO'O''$ . Очевидно, цель  $A$  должна находиться на линии разрывов. Только в этом случае она будет поражена.

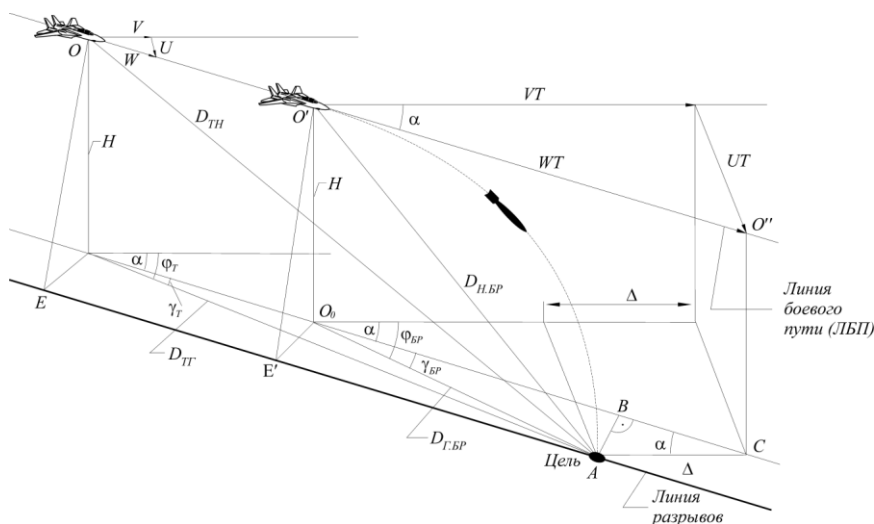


Рис. 15.3

Прицеливание при бросании бомб можно разделить на две операции: прицеливание по направлению и прицеливание по дальности. Прицеливание по *направлению* обеспечивается выводом самолета на боевую траекторию (линию боевого пути  $OO'O''$ ) таким образом, чтобы линия разрывов проходила через цель. Этому условию соответствует бортовой пеленг цели  $\varphi_T$  (текущий), удовлетворяющий равенству (см.рис. 15.3)

$$\varphi_T = \alpha + \gamma_T, \quad (15.3)$$

где  $\alpha$  – угол сноса, а угол  $\gamma_T$  учитывает степень отклонения линии разрывов от проекции боевого пути (ЛБП) на поверхность земли. Этот угол найдем как

$$\gamma_T = \arcsin\left(\frac{\overline{AB}}{D_{\text{тр}}}\right) = \arcsin\left(\frac{\Delta \sin \alpha}{D_{\text{тр}}}\right) = \arcsin\left(\frac{\Delta \sin \alpha}{\sqrt{D_{\text{тн}}^2 - H^2}}\right). \quad (15.4)$$

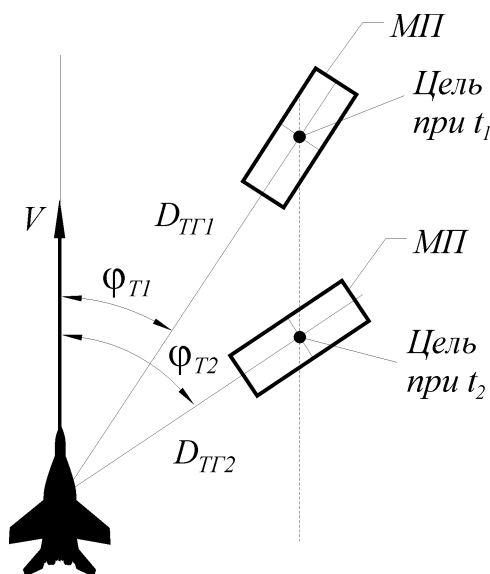


Рис.15.4

При постоянном ветре  $U$  угол сноса  $\alpha$  также постоянен, а угол  $\gamma_T$  в процессе полета изменяется и зависит от расстояния до цели  $D_{\text{тн}}$ .

Итак, при известном ветре для данной высоты полета  $H$  и расстояния до цели  $D_{\text{тн}}$  вычисляется угол  $\gamma_T$ . Установив продольную линию прицельного перекрестия под углом  $\varphi_T$  к строительной оси самолета и выполнив маневрирование самолетом, добиваются совмещения изображения цели с продольной линией перекрестия. При выполнении данных операций и вывода самолета на ЛБП осуществ-



ляется прицеливание по направлению. На экране индикатора с радиально-секторной разверткой цель перемещается по линии, параллельной продольной оси самолета. На рис. 15.4 приведена схема относительного перемещения цели при правильном выполнении прицеливания по направлению по отношению к самолету. На рис. 15.5 приведены изображения на экранах индикатора с радиально-секторной разверткой, а на рис. 15.6 – на экране индикатора микропланового (МП) радиолокационного изображения, на котором положение цели остается неподвижным, если правильно установлена скорость изменения задержки начала развертки, соответствующей путевой скорости.

При *прицеливании по дальности* необходимо, во-первых, вычислить дальность до цели в момент бросания бомбы  $D_{н.бр}$  и затем сравнивать текущее фактическое (наклонное) расстояние до цели  $D_{тн}$  с дальностью бросания  $D_{тн} = D_{н.бр}$ . В момент совпадения  $D_{тн}$  и  $D_{н.бр}$  выполняется бросание бомбы. Параметр сигнализации момента бросания, очевидно, равен

$$\Delta D_{бр} = D_{тн} - D_{н.бр}. \quad (15.5)$$

Дальность бросания  $D_{н.бр}$  найдем (см.рис.15.3) как гипотенузу прямоугольного треугольника  $O'E'A$ :

$$D_{н.бр} = \left[ (WT - \Delta \cos \alpha)^2 + (H^2 + \Delta^2 \sin^2 \alpha) \right]^{1/2}. \quad (15.6)$$

Таким образом, для решения задачи прицеливания при бомбометании в РЛС определяются положение цели по дальности  $D_{тн}$  и азимут (бортовой пеленг цели)  $\varphi_t$ . Необходимо также определить и знать параметры движения самолета (от других приборов на самолете): высоту, путевую и воздушную скорость, курс и угол сноса, знать баллистические характеристики бомбы. При помощи бортовой ЭВМ вычисляются  $\gamma_t$  и  $D_{н.бр}$ , и эти данные поступают в индикаторную систему для прицеливания.

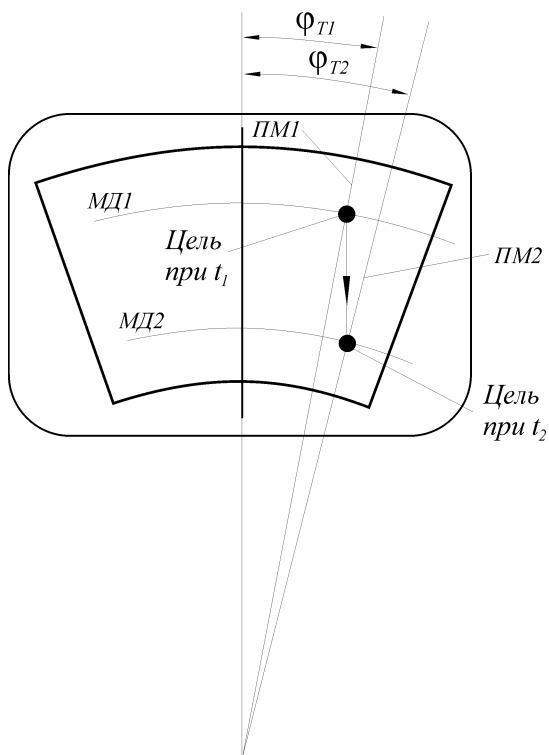


Рис. 15.5

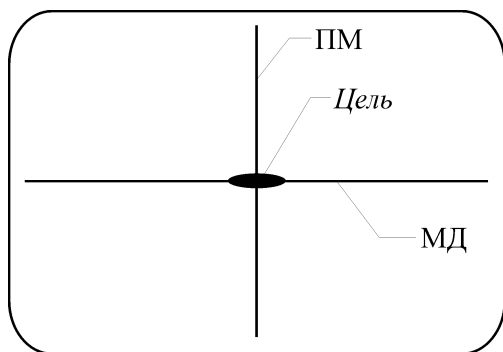


Рис. 15.6

*Преодоление зон ПВО противника на малых высотах.* Полет на малых высотах является эффективным приемом преодоления ударными самолетами зон ПВО противника. Имеется ряд факторов, способствующих успешному преодолению ПВО на малых и предельно малых высотах.

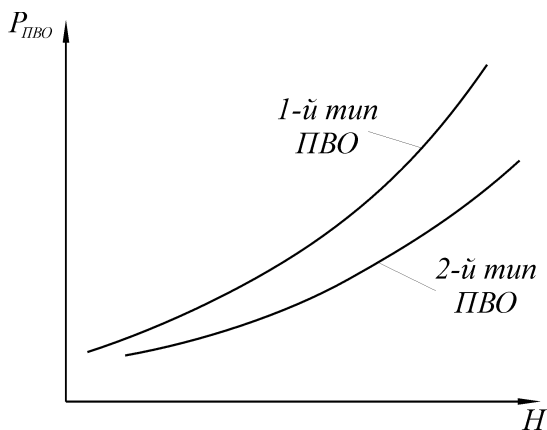
Во-первых, дальность обнаружения и наблюдения воздушных целей наземными РЛС системы ПВО ограничены условиями прямой видимости. Кроме того, дальность обнаружения ограничивается наличием наземных препятствий, закрывающих сектор наблюдения по углу места. Такими препятствиями могут быть лес, неровности рельефа, строения и т.п. Уменьшение дальности обнаружения самолета ограничивает и возможное время на применение средств ПВО при отражении налета самолетов.

Во-вторых, обнаружению низколетящих целей радиолокационными системами как наземными, так и воздушного дозора препятствует маскирующий эффект отражений от местных предметов и от поверхности земли. Развитие и применение РЛС доплеровского типа и систем СДЦ позволяет повысить вероятность обнаружения целей в этих условиях, но при прочих равных условиях дальность обнаружения целей при наличии мешающих отражений всегда меньше, чем в свободном пространстве.

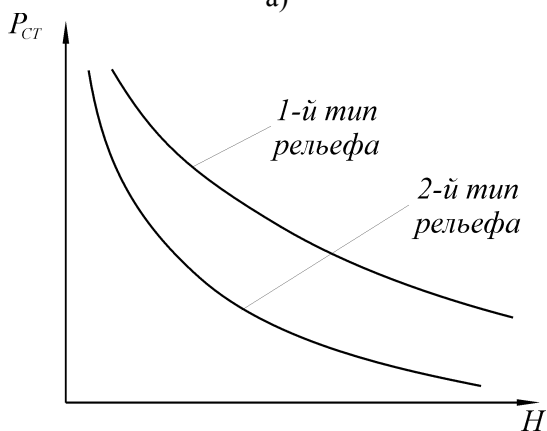
Полеты на малых высотах, вместе с тем, сопряжены с большими трудностями. Во-первых, эта опасность столкновения с наземными препятствиями. Кроме того, усложняется выполнение задач пилотирования, полета по маршруту, уменьшаются зоны обзора и поиска целей на поверхности земли. Возможности экипажей по визуальному наблюдению, опознаванию целей также ограничены.

В ряде случаев могут быть определены оптимальные высоты полета. Если построить зависимости вероятности  $P_{\text{ПВО}}$  поражения ударного самолета средствами ПВО в зависимости от высоты полета (рис. 15.7,а), то, очевидно, при увеличении высоты полета вероятность поражения возрастает.

Однако уменьшение высоты полета приводит к опасности столкновения с наземными препятствиями и искусственными объектами: аэростатами заграждения, линиями электропередач и т.п.



а)



б)

Рис. 15.7

Вероятность столкновения  $P_{\text{ст}}$  тем больше, чем меньше высота (рис. 15.7,б). Учитывая характер изменения вероятностей  $P_{\text{ПВО}}$  и  $P_{\text{ст}}$  с высотой, можно ожидать, что имеется некоторая оптимальная высота, при которой получаем наименьший риск потери самолета или из-за действий ПВО или из-за столкновений с наземными препятствиями. Для совместного риска  $C_p$  запишем выражение

$$C_p = \alpha_{\text{пво}} P_{\text{пво}} + \alpha_{\text{ст}} P_{\text{ст}}. \quad (15.7)$$

где  $\alpha_{\text{пво}}$  – коэффициент, учитывающий цену риска, связанного с опасностью поражения средствами ПВО;  $\alpha_{\text{ст}}$  – коэффициент, учитывающий цену риска столкновения с наземными препятствиями.

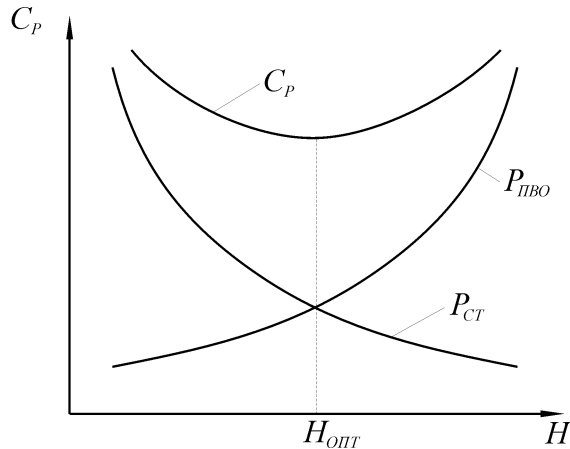


Рис.15.8

На рис. 15.8 приведены качественные кривые для результирующего совместного риска  $C_p$  в зависимости от высоты. Видно, что имеется оптимальная высота полета самолета, где риск  $C_p$  наименьший.

Иногда целесообразно определить оптимальную высоту полета в зависимости от вероятности выполнения боевой задачи по преодолению системы ПВО противника  $P_{\text{бз}}$ . Очевидно, что вероятность потерь от действия ПВО и из-за столкновений, а также вероятность выполнения боевой задачи связаны соотношением

$$P_{\text{бз}} = (1 - P_{\text{пво}})(1 - P_{\text{ст}}). \quad (15.8)$$

На рис. 15.9 показана качественная кривая зависимости  $P_{\text{бз}}$  от высоты полета. Также отметим, что имеется оптимальная высота  $H_{\text{опт}}$ , при которой вероятность  $P_{\text{бз}}$  максимальна. В общем случае

оптимальные высоты, найденные по минимуму риска  $C_p$  и максимуму  $P_{бз}$ , могут и не совпадать, но отличаются они мало. При уровне развития современных систем ПВО и самолетов оптимальная высота полета находится в пределах от 20 до 60м.

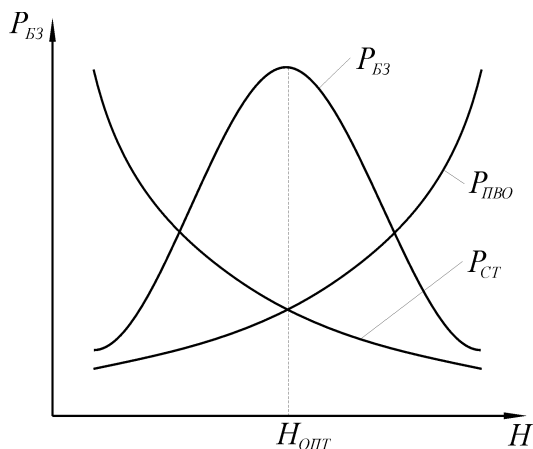


Рис. 15.9

Полет на малой высоте с выполнением маневра для обеспечения безопасности и предупреждения столкновения с наземными препятствиями будем называть *профильным полетом*. Различают следующие виды профильного полета. Во-первых, *облет препятствий*, когда в процессе полета осуществляется маневрирование в вертикальной плоскости и обеспечивается наибольшее приближение траектории полета к вертикальному профилю рельефа местности. Иногда такой полет называют полетом со слежением или следованием рельефу местности. Во-вторых, *обход препятствий* — это полет с маневрированием в горизонтальной плоскости, когда обходятся вершины и наиболее крупные препятствия без изменения своей абсолютной (барометрической) высоты. В реальных условиях, конечно, наиболее эффективно обеспечивается скрытность полета от средств наблюдения ПВО противника при совместном применении обхода и облета препятствий.

Измерения структуры рельефа местности впереди самолета является одним из основных условий для успешного полета на малых и предельно малых высотах, то есть при выполнении профильного полета. Использование для этой цели топографических карт и знание своего местоположения с высокой точностью позволяет решить эту задачу. Однако следует учитывать, что многие препятствия не показаны на картах и по этой причине для измерения профиля рельефа и выявления реальных препятствий в ОПРК имеются или специальные РЛС профильного полета или введен специальный режим профильного полета в основной бортовой РЛС, как это уже отмечалось выше. В этом режиме информация о препятствиях на поверхности земли и о структуре рельефа поступает в виде зависимости измеренной высоты точек поверхности в заданном секторе пространства относительно некоторой опорной плоскости. Обычно в качестве такой плоскости выступает плоскость горизонта самолета (плоскость, параллельная поверхности земли), в которой расположены вектор скорости самолета. Высоты точек поверхности относительно горизонта самолета будем называть *упрежденными высотами* в отличие от обычной, текущей высоты полета, измеряемой непосредственно под самолетом. На рис. 15.10 поясняется принцип измерения упрежденных высот относительно поверхности земли. Сечение поверхности земли вертикальной плоскостью, проходящей через вектор путевой скорости самолета будем называть *продольным профилем* рельефа местности. Положение любой точки на поверхности земли (упрежденную высоту) относительно горизонта самолета находим из треугольника ОВА:

$$H_{y.a} = D_n \sin \beta_{лв.а}, \quad (15.9)$$

где  $H_{y.a}$  – упрежденная высота для точки А на поверхности земли;  $D_n$  – наклонная дальность до точки А по линии визирования (ЛВ) этой точки;  $\beta_{лв.а}$  – угол наклона линии визирования точки А относительно горизонта самолета.

При полете на малых высотах угол  $\beta_{лв.а}$  обычно мал и тогда приближенно можно записать:

$$H_{y.a} \cong D_n \beta_{лв.а} . \quad (15.10)$$

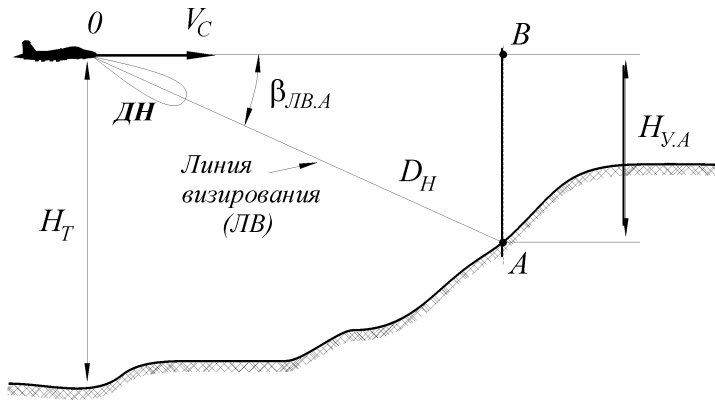


Рис. 15.10

Отметим, что для построения радиолокационного изображения рельефа местности в виде зависимости высоты относительно точек на поверхности земли (определяемых расстоянием  $D_n$  и азимутальным углом  $\varphi_{аз}$ ) необходимо знать или измерять три координаты: угол наклона линии визирования точек на поверхности земли, азимутальное положение и наклонную дальность до точек поверхности земли.

## 15.2. ТАКТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЛС УДАРНЫХ И РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УДАРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

### 1. Дальность и сектора наблюдения наземных объектов

Очевидно, что эффективное решение задач, рассмотренных ранее, возможно только при условии, что технические возможности и технические характеристики РЛС удовлетворяют заданным тактическим требованиям. Основные тактические характеристики РЛС ударных и разведывательно-ударных комплексов это дальность наблюдения наземных и морских объектов, сектора обзора и скани-



рования, разрешающая способность и точность определения координат целей и радиолокационных ориентиров.

Требуемая дальность наблюдения РЛС для различных режимов работы РЛС зависит от многих факторов, которые связаны с особенностями решаемых задач. В качестве примеров рассмотрим, каким образом можно подойти к обоснованию требований к ОПРК в отношении максимальной дальности в различных режимах работы.

*Полет по маршруту (решение навигационных задач).* Основная задача РЛС в этом режиме состоит в обеспечении ориентирования по радиолокационному изображению поверхности земли и корректировки навигационных систем по измеренным координатам радиолокационных ориентиров. Известно, что для ориентировки обычно используются характерные объекты и особенности поверхности земли: реки, озера, острова, дороги, характерные структуры населенных пунктов и т.п. Обычно в зоне наблюдения всегда можно найти несколько таких объектов, как показали исследования, в радиусе до 200 км от наблюдателя. Высокая детализация изображений в этом случае не требуется. Для ориентировки и «привязки» к местности следует одновременно наблюдать по крайней мере от 3 до 5 характерных объектов. В среднем расстояния между такими объектами составляет величину 40-60 км. Следовательно, при картографировании поверхности земли для ориентировки следует иметь радиолокационные изображения таких объектов на местности в радиусе не менее 150-200 км. Эта величина может служить основой для определения требуемой дальности наблюдения и сектора обзора поверхности по азимуту. Действительно, если линейный размер зоны обзора по дальности  $D_d$  и азимуту  $L_{аз}$ , то угловой сектор обзора по азимуту должен быть не менее

$$\Psi_{аз} = 2 \arctg \frac{(L_{аз} / 2)}{D_{д. \min}}, \quad (15.11)$$

где  $D_{д. \min}$  — минимальная дальность наблюдения целей определяется высотой полета  $H_c$  и углами наклона линии визирования, обеспечивающими наилучшее наблюдение с самолета. Можно считать, что

$$D_{\text{д. min}} = (3-5)H_c. \quad (15.12)$$

Например, при  $D_{\text{д. min}} = 40 \text{ км}$ , а  $L_{\text{аз}} = 200 \text{ км}$ , высоте полета 10 км получаем, что  $\Psi_{\text{аз}} \approx 2 \arctg \frac{200}{2 \times 4 \times 10} \approx 130^\circ$ . Сектор обзора должен располагаться в любом направлении относительно оси самолета с тем, чтобы выбрать участок поверхности, в пределах которого могло бы находиться достаточное количество ориентиров (3-5).

При коррекции текущих координат самолета по радиолокационным ориентирам требуемая дальность должна быть такой, чтобы также иметь возможность найти соответствующий РЛ ориентир, опознать его и выполнить коррекцию. Очевидно и в этом режиме первичной задачей является обнаружение ориентира и «привязка» его к местности. Следовательно, и дальность действия РЛС и сектор поиска должны быть такими же, как и при общей ориентировке при полете по маршруту.

При определении требуемой дальности РЛС, конечно, следует учитывать ограничения, обусловленные прямолинейностью распространения радиоволн, что приводит к появлению такого понятия как *дальность прямой РЛ видимости*  $D_{\text{пв}}$  (или дальность РЛ горизонта) (рис. 15.11). Очевидно, что требовать дальность обнаружения ориентиров больше  $D_{\text{пв}}$  нецелесообразно.

Найдем  $D_{\text{пв}}$ , используя рис.15.11:

$$D_{\text{пв}} = \sqrt{(R_{3.9\text{к}} + H_c)^2 - R_{3.9\text{к}}^2} = \sqrt{2R_{3.9\text{к}}H_c + H_c^2} = \sqrt{2R_{3.9\text{к}}H_c}, \quad (15.13)$$

где  $H_c$  – высота полета самолета,  $R_{3.9\text{к}}$  – эквивалентный радиус Земли с учетом рефракции радиоволн при распространении в атмосфере. Радиус  $R_{3.9\text{к}}$  отличается от геометрического  $R_3 = 6,37 \times 10^6 \text{ м}$  и равен  $R_{3.9\text{к}} = 8,5 \times 10^6$  при стандартной атмосфере. Если подставить эту величину  $R_{3.9\text{к}}$  в формулу (15.13), а  $D_{\text{пв}}$  и  $H_c$  выразить в километрах, то получим

$$D_{\text{ПВ(км)}} = 130 \sqrt{H_{\text{с(км)}}}. \quad (15.14)$$

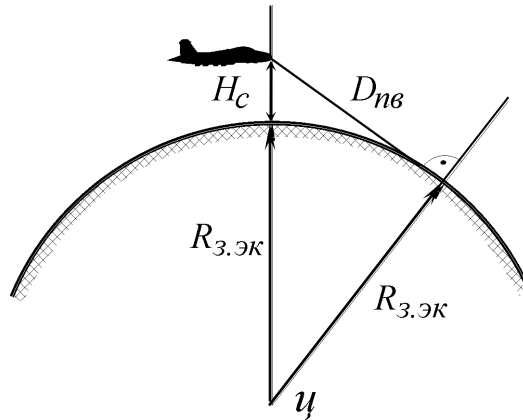


Рис. 15.11

*Поиск целей и прицеливание.* Требуемая минимальная дальность обнаружения целей в РЛС ударного комплекса зависит от дальности применения бортового оружия (дальности бомбометания или пуска ракет) и от протяженности участка траектории полета самолета, во время пролета по которому выполняются все необходимые операции по обнаружению целей, их опознаванию и распознаванию, а также выполняется требуемый маневр для выхода в точку пуска (или бросания бомб) при прицеливании или при подготовке к пуску ракет.

Наибольшую дальность применения имеют ракеты класса «воздух-поверхность», предназначенные для атаки наземных или морских целей без входа в зону объектов ПВО противника. Например, при атаке авианосной ударной группы (АУГ) (рис. 15.12) крылатыми ракетами с радиолокационными головками самонаведения (РГС) следует выполнить следующие операции: обнаружить цель, опознать и распознать ее, захватить на сопровождение и выполнить маневрирование для выхода на боевой путь. Далее необхо-

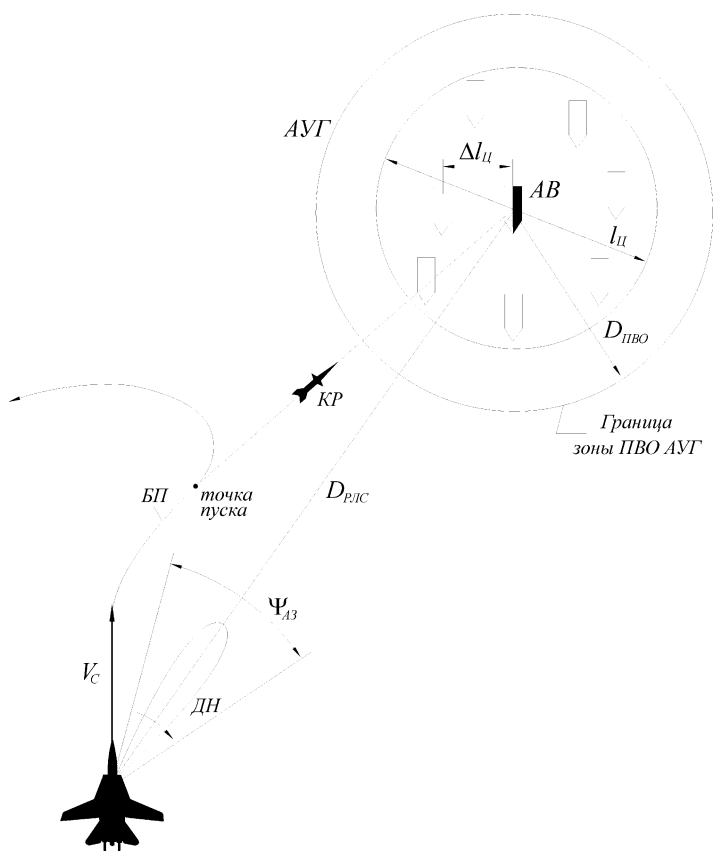


Рис. 15.12

димо иметь время для выполнения целеуказания ракетам, на захват целей РГС ракет и на подготовку их к пуску. В результате требуемая дальность может быть определена по формуле

$$D_{рлс} = D_p + V_c \sum_{i=1}^M t_i, \quad (15.15)$$

где  $D_p$  – максимальная дальность пуска ракет,  $V_c$  – скорость полета самолета-носителя,  $t_i$  – отдельные интервалы времени, отводимые

на выполнение описанных выше операций,  $M$  – число факторов или операций, которые необходимо учитывать при оценке требуемой максимальной дальности  $D_{\text{рлс}}$ .

При определении сектора поиска целей по азимуту на этапе обнаружения целей следует исходить из таких же предпосылок, как и в режиме навигации. После перехода в режим прицеливания и целеуказания РЛ наблюдение необходимо осуществлять в более узком секторе по азимуту и в меньшем интервале дальностей, как правило, с индикацией целей на экране типа «микроплан». Размеры сектора обзора по азимуту  $\Psi_{\text{аз}}$  и интервала дальностей определяются необходимостью наблюдать всю групповую или всю сложную цель. Это требуется для того, чтобы выбрать атакуемую цель, распознать ее в составе сложной или групповой цели, как, например, АУГ, и для последующего точного определения координат этой цели. Если максимальный размер групповой или сложной цели, например позиции зенитно-ракетного комплекса, обозначить  $l_{\text{ц}}$ , то сектор обзора поверхности земли по азимуту на начальных этапах прицеливания может быть выбран, исходя из соотношения

$$\Psi_{\text{аз}} \geq 2 \arctg \left( \frac{l_{\text{ц}}}{2D_{\text{захв}}} \right), \quad (15.16)$$

где  $D_{\text{захв}}$  – дальность до групповой цели при захвате на сопровождение и начале прицеливания. При устойчивом сопровождении цели в режиме прицеливания сектор обзора может быть уменьшен до минимального размера, определяемого необходимостью сохранять обзор всей групповой цели или ее основной части.

*Выполнение профильного полета на малых высотах.* Основными тактическими характеристиками РЛС профильного полета являются: дальность наблюдения препятствий и возможность измерения профиля рельефа, сектора обзора по азимуту и наклону, а также точность измерения упрежденных высот и всего профиля рельефа. Тактические требования в этом случае во многом зависят от режима полета самолетов на малых высотах (скорость, допустимая высота, перегрузки), вида и типа самолета, характера местности.

*Дальность наблюдения препятствий* – одна из основных тактических характеристик. РЛС должна обеспечивать ОПРК необходимой информацией о структуре рельефа местности в пределах дальности, достаточной для решения задачи облета и обхода препятствий по наиболее эффективным траекториям.

При облете препятствий наилучшей траекторией могла быть кривая, повторяющая сечение рельефа местности вертикальной плоскостью, проходящей через вектор путевой скорости самолета, на заданной минимальной высоте относительно поверхности земли. При обходе препятствий наилучшей траекторией является такая, при которой самолет в процессе профильного полета не поднимается выше заданной горизонтальной плоскости. При этом достигается наибольшая скрытность от наблюдения радиолокационными средствами ПВО противника. В зависимости от типа самолета, характера рельефа, скорости и допустимой перегрузки траектория полета может представлять собой огибающую вершин, без снижения самолета в области понижения между вершинами.

Рассмотрим, от каких факторов зависит максимальная дальность обнаружения препятствия, достаточная для облета с заданной перегрузкой  $n_{g.\max}$ . Так как препятствия могут затенять участки поверхности земли за вершиной, то наилучшая позиция самолета при пролете вершины – это горизонтальное положение, когда выполняется горизонтальный пролет над вершиной с превышением ее на заданной высоте (рис. 15.13). В рассматриваемом варианте полет можно разделить на три участка: (I) набор высоты с максимальной перегрузкой  $n_{g.\max}$ , (II) полет с постоянным максимально допустимым углом кабрирования  $\alpha_k$  и участок (III) выравнивания с допустимой отрицательной перегрузкой  $n_{g.\min}$ . Определим величину требуемой горизонтальной дальности  $D_{\text{пр}}$  до вершины. Эту величину можно представить в виде суммы трех интервалов, соответствующих трем участкам траектории полета

$$D_{\text{пр}} = D_1 + D_2 + D_3.$$

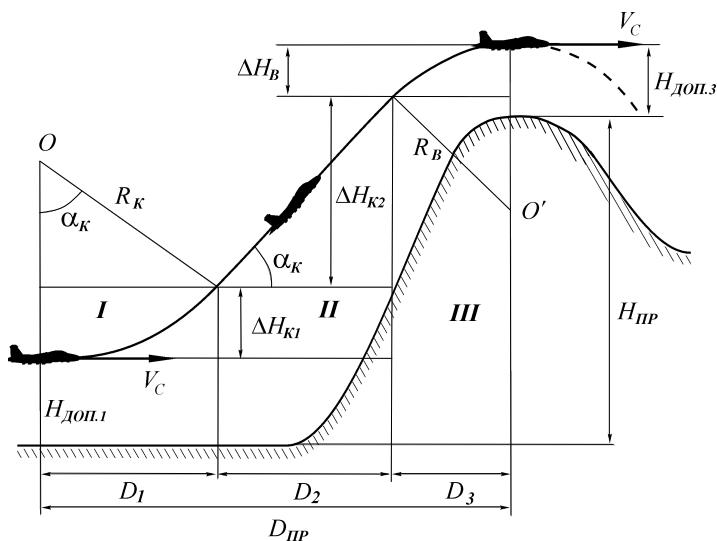


Рис. 15.13

Определим эти величины  $D_1, D_2, D_3$ . Из рис. 15.13 видно, что при радиусе кабрирования  $R_K$  и угле  $\alpha_K$  (это допустимый угол кабрирования) длина участка  $D_1$  равна

$$D_1 = R_K \sin \alpha_K. \quad (15.17)$$

За время набора высоты с максимальной перегрузкой (на первом участке) высота самолета изменяется на величину

$$\Delta H_{K1} = R_K - R_K \cos \alpha_K = R_K (1 - \cos \alpha_K). \quad (15.18)$$

Радиус кабрирования, как известно из аэродинамики, равен

$$R_K = \frac{V_c^2}{g(n_{g, \max} + 1)}, \quad (15.19)$$

$g$  – ускорение силы тяжести,  $V_c$  – скорость полета самолета.

Аналогично рассмотрим третий участок. Длина участка  $D_3$  равна

$$D_3 = R_{\text{в}} \sin \alpha_{\text{к}}, \quad (15.20)$$

где  $R_{\text{в}}$  – радиус траектории выравнивания над вершиной, равной

$$R_{\text{в}} = \frac{V_{\text{с}}^2}{g(n_{\text{г.мин}} + 1)}. \quad (15.21)$$

За время выравнивания самолет набирает высоту  $\Delta H_{\text{в}}$ , равную

$$\Delta H_{\text{в}} = R_{\text{в}} (1 - \cos \alpha_{\text{к}}). \quad (15.22)$$

Для определения длины второго участка  $D_2$  найдем перепад высот  $\Delta H_{\text{к2}}$ , соответствующий набору высоты на втором участке полета (с нулевой перегрузкой полет вдоль склона препятствия с допустимым углом кабрирования  $\alpha_{\text{к}}$ ). Для определения  $\Delta H_{\text{к2}}$  составим равенство (см. рис. 15.13), связывающее высоту препятствия  $H_{\text{пр}}$  с приростами высот

$$H_{\text{пр}} + H_{\text{доп.3}} = H_{\text{доп.1}} + \Delta H_{\text{к1}} + \Delta H_{\text{к2}} + \Delta H_{\text{в}}. \quad (15.23)$$

Из этого (15.23) равенства получаем

$$\Delta H_{\text{к2}} = H_{\text{пр}} - \Delta H_{\text{к1}} - \Delta H_{\text{в}} + H_{\text{доп.3}} - H_{\text{доп.1}}. \quad (15.24)$$

Знание величины  $\Delta H_{\text{к2}}$  позволяет найти протяженности второго участка горизонтальной дальности  $D_2$ :

$$D_2 = \Delta H_{\text{к2}} \operatorname{ctg} \alpha_{\text{к}}. \quad (15.25)$$

Итак, минимально требуемое расстояние до вершины (горизонтальная дальность)  $D_{\text{пр}}$  равно

$$D_{\text{пр}} = D_1 + D_2 + D_3 = R_{\text{к}} \sin \alpha_{\text{к}} + R_{\text{к}} \sin \alpha_{\text{к}} + \Delta H_{\text{к2}} \operatorname{ctg} \alpha_{\text{к}}. \quad (15.26)$$

Однако требуемая минимальная дальность обнаружения препятствий несколько больше  $D_{\text{пр}}$ , так как требуется еще учесть



время на обнаружение  $t_{\text{обн}}$ , распознавание угрозы столкновения  $t_y$  и принятия решения на маневрирование  $t_p$  (при ручном и полуавтоматическом управлении самолетом). Получаем для минимальной требуемой дальности обнаружения препятствий  $D_{\text{пп}}$  соотношение

$$D_{\text{пп}} = D_{\text{пр}} + V_c \sum_{i=1}^M t_i, \quad (15.27)$$

где  $M$  – число учитываемых факторов при обнаружении, принятии решения и т.п.;  $t_i$  – частные отрезки времени на выполнение указанных выше операций.

Уместно сразу оценить потребный *сектор обзора* РЛС по углу места  $\Psi_{\text{ум.пп}}$  при выполнении облета препятствий

$$\Psi_{\text{ум.пп}} = \arctg[(H_{\text{пр.мах}} + H_{\text{доп}})/D_{\text{пр}}], \quad (15.28)$$

где  $H_{\text{пр.мах}}$  – максимально допустимая высота препятствий или перепад высот в сильно пересеченной местности.

При выполнении *обхода препятствий* также можно определить необходимую дальность РЛС при обнаружении препятствий. Рассмотрим возможный вариант выполнения обхода препятствий, который позволит обосновать основные требования к *дальности обнаружения* и к сектору обзора (рис. 15.14). Основная задача при выполнении обхода препятствий – это осуществление маневрирования в виде двух участков криволинейного полета с постоянной перегрузкой (части виража) смещения самолета относительно первоначальной траектории на линейную величину  $l_{\text{см}}$

$$l_{\text{см}} = \frac{l_{\text{пр}}}{2} + \Delta l_6, \quad (15.29)$$

где  $l_{\text{пр}}$  – линейный размер препятствия по азимуту в горизонтальной плоскости, упрежденная высота которого относительно горизонта самолета меньше безопасной высоты полета;  $\Delta l_6$  – интервал безопасности, обеспечивающей пролет самолета между двумя зонами

препятствий. Летно-пилотажным ограничением при этом может быть допустимый угол отклонения самолета по курсу  $\Delta\varphi_{\text{к.доп}}$  от первоначального курса при маневрировании. Из рис. 15.14 видно, что

$$D_{\text{пр}} = l_{\text{см}} / \text{tg}\left(\frac{\Delta\varphi_{\text{к.доп}}}{2}\right) \quad (15.30)$$

или

$$D_{\text{пр}} = \frac{\frac{l_{\text{пр}}}{2} + \Delta l_{\text{б}}}{\text{tg}\left(\frac{\Delta\varphi_{\text{к.доп}}}{2}\right)}. \quad (15.31)$$

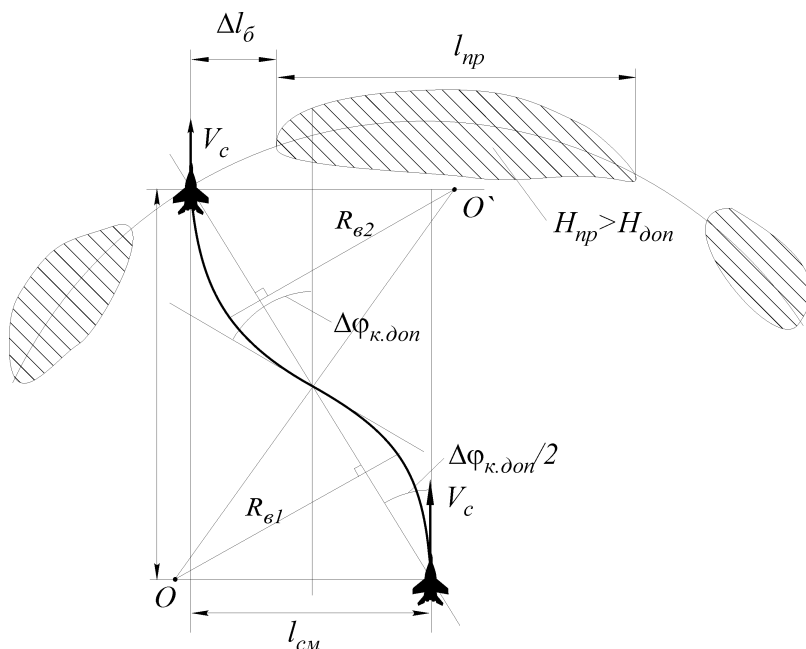


Рис. 15.14

Сектор обзора при обходе препятствий выбирается так же, как и при выполнении полета по маршруту, и обычно составляет ве-

личину от 30 до 60°.

## 2. Разрешающая способность и точность измерения координат

Требования к разрешающей способности радиолокационного наблюдения зависят от структуры объекта наблюдения, ориентиров и целей. По этой причине в различных режимах работы РЛС, вследствие отличающихся по своей структуре объектов наблюдения, требования к разрешению целей оказываются различными. При наблюдении того или иного ориентира или характерной особенности в структуре поверхности земли всегда возникает вопрос: какова должна быть детальность получаемого РЛ изображения? При решении этого вопроса можно воспользоваться результатами и выводами теории распознавания образов. Установлено, что для отображения характерных контуров и особенностей объектов поверхности земли или ориентиров, позволяющих обнаружить тот или иной ориентир или цель в целом, или дать более полное его описание для распознавания или идентификации типа цели, целесообразно использовать вероятностный подход. В зависимости от вероятности распознавания объекта должны быть и различные соотношения линейных размеров объекта и величины разрешения.

Коэффициентом распознавания  $K_p$  назовем отношением линейного размера цели по той или иной координате  $l_x$  к линейному значению разрешения по данной координате  $\delta x$  (рис. 15.15,а)

$$K_p = \frac{l_x}{\delta x}. \quad (15.32)$$

Для обнаружения и распознавания линейных объектов: дороги, реки, береговой черты и т.п. необходимо, чтобы линейный размер элемента разрешения  $\delta l$  был меньше размеров наименьших из характерных изгибов и поворотов и примерно соответствовал бы ширине этого линейного объекта  $l_{из}$  (рис. 15.15,б). В этом случае коэффициентом распознавания назовем отношение  $R_{из.min}$  наименьшего из радиусов дуги, аппроксимирующей характерные изгибы линейного объекта, и элемента разрешения  $\delta l$ :

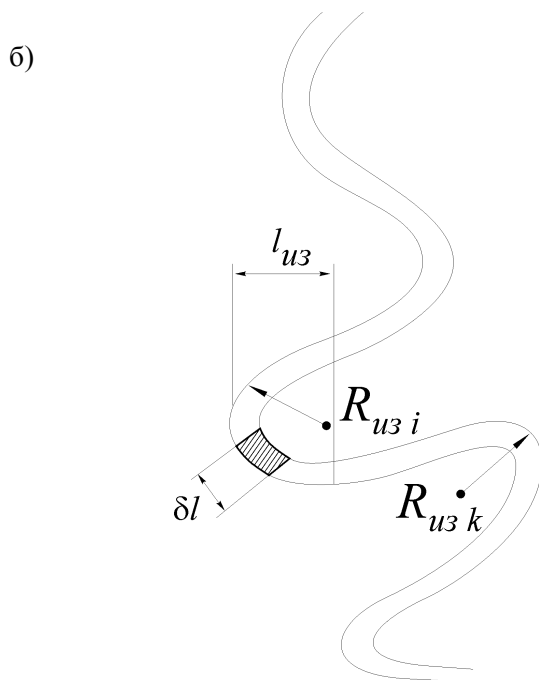
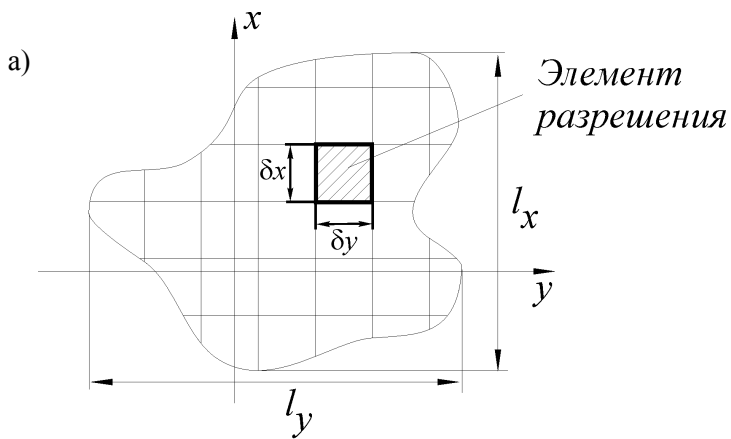


Рис. 15.15

$$K_p = \frac{R_{\text{из. min}}}{\delta l}. \quad (15.33)$$

В табл. 15.1 приведены значения  $K_p$ , при которых обеспечивается распознавание с заданной вероятностью.

**Таблица 15.1**

Вероятность распознавания целей

Качество распознавания	Обнаружение (без распознавания)		Обнаружение с грубым опознаванием вида цели		Распознавание цели (тип цели)	Идентификация цели	Детальное описание цели
Отношение размера цели или типового элемента цели к величине разрешения; $K_p$	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	1,5-2	3-4	4,5-6	6-8	9-12	12-16	18-24
Вероятность распознавания	0,02	0,10	0,30	0,50	0,80	0,95	≈1,0

Рассмотрим ряд характерных ориентиров и объектов, представляющих интерес при самолетовождении и радиолокационной коррекции бортовых навигационных систем, а также при выполнении разведки и поиска целей.

*Населенные пункты* можно обнаружить с указанием типа населенного пункта или городской застройки, если линейное разрешение на поверхности не хуже 60 м (соответствует графе 3 табл.15.1.). Однако точно расшифровать структуру населенного пункта можно только при повышении разрешения до 20 м. Детальное описание обнаруженного населенного пункта возможно при разрешении порядка 3-5 м.

*Железнодорожные узлы и строения (депо и т.п.)* можно обнаружить (с указанием, что действительно наблюдается железнодоро-

рожная станция) при разрешении порядка 30 м. Распознать назначение и вид железнодорожного узла можно при разрешении 10-15м. Указать, какая именно железнодорожная станция обнаружена (идентифицировать объект)? можно при разрешении 5-6 м, а детальное описание железнодорожного узла и соответствующих строений возможно при разрешении не хуже 1,5-2 м.

*Шоссейные дороги, железные дороги* обнаруживаются при разрешении порядка 9-10м, а распознавание типа дороги возможно при разрешении 5-6 м, а детальное описание при разрешении 1-2 м.

*Береговая черта, пляжи* обнаруживаются при разрешении 30м, распознавание района расположение пляжей и характерных структур берега возможно при разрешении порядка 3-5 м. Детальное описание берега и пляжей можно при разрешении 1-2 м.

При *поиске целей* в процессе выполнения разведки и при прицеливании часто необходимо распознавать характерные типы цели или отдельные элементы целей. Требуемое разрешение при этом можно определить, используя табл. 15.2.

**Таблица 15.2**

Требования по разрешению типовых целей

N пп.	Тип цели	Обнаруже- ние, м	Распоз- навание цели, м	Идентифи- кация типа цели, м	Детальное описание, м
1.	Мосты	6	4,5	1,5	0,9
2.	Наземные РЛС	3	0,9	0,3	0,15
3.	Радиостанции, узлы связи	3	1,5	0,3	0,15
4.	Склады материаль- ных ресурсов	1.5	0,6	0,3	0,25
5.	Скопление войск и боевой техники	6	2,1	1,2	0,3
6.	Взлетно- посадочные полосы	40	9,0	4,5	1,5

Продолжение таблицы 15.2

7.	Аэродромные стро- ения и склады ГСМ	6	4,5	3	0,3
----	--	---	-----	---	-----

8.	Самолеты на стоянках	4.5	1,5	0,9	0,15
9.	Командные пункты	3	1,5	0,9	0,15
10.	Баллистические ракеты «Земля-земля» и позиции ЗРК	3	1,5	0,6	0,3
11.	Артиллерийские системы, ракетные системы	0.9	0,6	0,15	0,05
12.	Наземный транспорт	1.15	0,6	0,3	0,06
13.	Морские суда (среднего типа)	7.5	4,5	0,6	0,3
14.	Подводные лодки (на поверхности)	30	6	1,5	0,9
15.	Компоненты ядерного оружия	2.4	1,5	0,3	0,03

Используя данные таблиц 15.1 и 15.2, можно обосновать требования к разрешающей способности ОПРК при решении навигационных задач и задач поиска и поражения наземных целей. В частности, разрешение по дальности непосредственно можно получить из формулы (15.32)

$$\delta D = \frac{l_d}{K_p}, \quad (15.34)$$

где  $l_d$  – протяженность объекта наблюдения по дальности или существенного элемента объекта или цели;  $K_p$  – коэффициент разрешения, который можно выбирать из табл. 15.1. При определении  $\delta D$  можно и непосредственно использовать данные из табл. 15.2.

Требования к разрешающей способности по азимуту можно определить или как линейное разрешение по азимуту  $\delta l_{аз}$  по табл. 15.2, или можно оценить по формуле, аналогичной формуле (15.32)

$$\delta l_{аз} = \frac{l_{аз}}{K_p}, \quad (15.35)$$

где  $l_{\text{аз}}$  – линейная протяженность объекта по азимуту.

При определении углового разрешения по азимуту следует учитывать расстояние до цели  $D_{\text{ц}}$  :

$$\delta\varphi_{\text{аз}} = \frac{l_{\text{аз}}}{D_{\text{ц}} K_{\text{р}}} . \quad (15.36)$$

Значительно сложнее обосновать требования к *точности* определения координат целей или радиолокационных ориентиров, так как точность существенно зависит от применяемого оружия и от алгоритмов прицеливания или наведения бортовых ударных средств.

В режиме навигации, например, точность определения координат РО зависит от того, как погрешность измерения координат влияет на точность движения по маршруту и выхода к намеченному пункту. Для решения этой задачи потребовалось бы решить систему дифференциальных уравнений движения самолета и управления им. Исходя из материала гл.4, можно отметить, что если обеспечена требуемая разрешающая способность при наблюдении целей, то можно получить точность (среднеквадратическое значение), равную примерно одной десятой от размера элемента разрешения  $\sigma_D \cong 0,1\delta D$  и  $\sigma_{\text{аз}} = 0,1\delta\varphi_{\text{аз}}$  .

Аналогично можно подойти и к проблеме оценки требуемой точности при прицеливании. Важным параметром при этом в случае применения неуправляемого оружия является радиус поражения цели соответствующим боезарядом.

Оценим, кратко, требуемые разрешающие способности РЛС и точность измерения параметров рельефа местности при *профильном полете*. На рис. 15.16 приведен некоторый продольный профиль рельефа в качестве примера. Первый вопрос, на который необходимо дать ответ, какая должна быть детализация измерения профиля при помощи радиолокационной станции? Очевидно, чем меньше элемент разрешения  $\delta D$  по дальности, тем выше точность отображения рельефа. Однако излишне высокое разрешение может привести к завышенным требованиям к РЛС и к выбору вида применяемых сигналов. Кроме того, следует учесть, что знание мелких деталей профиля не может быть полезным при выполнении облета препятствий.



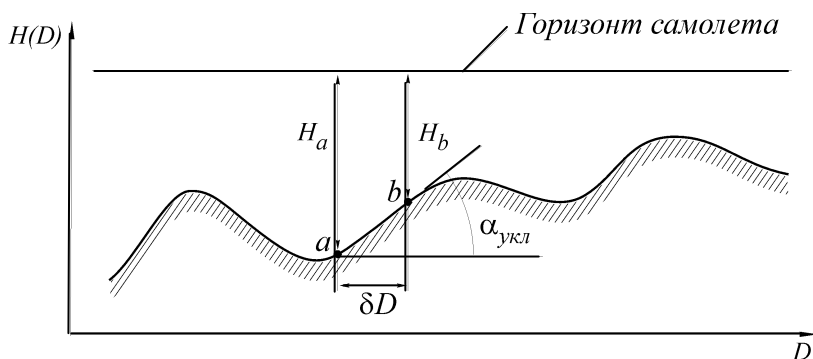


Рис. 15.16

При обосновании требований к величине разрешения  $\delta D$  следует принять заданной величиной допустимую погрешность в измерении упрежденных высот  $H_y$ , которая определяется условиями пилотирования на малых высотах. Самолет в процессе полета испытывает определенные колебания по высоте. Среднеквадратическое отклонение положения самолета от заданной высоты обозначим  $\sigma_{\Delta n, \text{доп}}$ . Очевидно, что высота полета должна быть больше суммы максимальных погрешностей измерения высоты в РЛС и максимальной погрешности пилотирования по высоте

$$H_{\min} > 3\sigma_{\Delta n, \text{доп}} + 3\sigma_{\Delta n, \text{рлс}}. \quad (15.37)$$

Для того, чтобы влияние погрешностей измерения высоты  $\sigma_{\Delta n, \text{рлс}}$  было минимальным, можно выбрать

$$\sigma_{\Delta n, \text{рлс}} \approx \sigma_{\Delta n, \text{доп}} / 10. \quad (15.38)$$

Таким образом, требуемая погрешность измерения высоты  $\sigma_{\Delta n, \text{рлс}}$  считается заданной условиями полета и летно-тактическими характеристиками самолета.

Определим допустимое разрешение по дальности  $\delta D$ , которое позволит получить заданную точность измерений высоты. Из рис. 15.16 видно, что из-за изменений высоты рельефа в пределах эле-

мента разрешения измеряемая высота может находиться в пределах от  $H_a$  до  $H_b$ . Изменение высоты  $\Delta H = H_a - H_b$  при известном значении уклона рельефа  $\alpha_{\text{укл}}$  связано с размером элемента разрешения

$$\Delta H = \delta D \sin \alpha_{\text{укл}}. \quad (15.39)$$

Если допустить, чтобы в  $\Delta H$  укладывалась максимальная ошибка измерения высоты ( $6\sigma_{\Delta \text{н.рлс}}$ ), то получим соотношение, позволяющее найти размер элемента разрешения по дальности:

$$\delta D = \frac{6\sigma_{\Delta \text{н.рлс}}}{\sin \alpha_{\text{укл. max}}}. \quad (15.40)$$

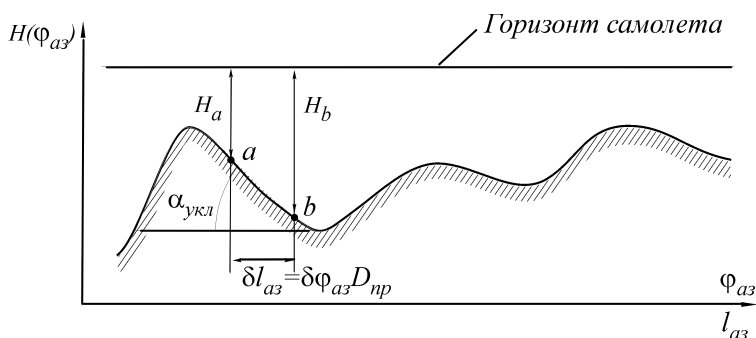


Рис. 15.17

Аналогичным образом определим требования к измерению поперечного профиля рельефа (по азимуту). На рис. 15.17 видно, что точное отображение поперечного профиля также связано с шириной элемента разрешения по азимуту  $\delta l_{\text{аз}}$ . Формулу получим аналогично (15.40)

$$\delta l_{\text{аз}} = \frac{6\sigma_{\Delta \text{н.рлс}}}{\sin \alpha_{\text{укл. max}}}. \quad (15.41)$$

Для углового азимутального разрешения  $\delta \varphi_{\text{аз}}$  получим

$$\delta\varphi_{аз} = \frac{\delta l_{аз}}{D_{пр}}.$$

Обычно такое разрешение  $\delta\varphi_{аз}$  требует применения антенны с узкой диаграммой направленности такой, чтобы выполнялось условие  $\theta_{л} \approx \delta\varphi_{аз}$ .

### **15.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОРТОВЫХ РЛС УДАРНЫХ И РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УДАРНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

#### **1. Общие сведения**

Для обеспечения решения рассмотренных выше тактических задач разработаны ОПРК, в составе которых, как отмечалось ранее, входят радиолокационные станции переднего обзора (РПО) поверхности земли, РЛС профильного полета (РПП), доплеровские навигационные РЛС измерения путевой скорости; оптические обзорно-визирные системы (телевизионные, инфракрасные, лазерные обзорные системы).

Самолетные РПО поверхности земли нашли широкое применение для решения задач самолетовождения и прицеливания. При полетах в сложных метеорологических условиях и ночью невозможно вести визуальное наблюдение поверхности земли и различных ориентиров и целей. Кроме того, при полетах на больших высотах и при высокой скорости затруднено наблюдение наземных ориентиров даже при хорошей видимости. В этих условиях реальная дальность радиолокационного наблюдения объектов на поверхности земли может значительно превышать возможную дальность визуального, лазерного и ИК наблюдения.

Основной задачей РПО поверхности земли является получение радиолокационного изображения (РЛИ) поверхности, выполнение *картографирования* поверхности земли. РЛИ в определенной степени подобно топографическим картам местности или изображению поверхности земли при выполнении аэрофотографирования с

самолета непосредственно вниз. РЛИ с различной степенью детализации (разрешения элементов и объектов) позволяет решать все задачи по обнаружению целей и ориентиров, опознавание их и выполнять прицеливание.

РЛС обзора поверхности входят не только в состав ОПРК ударных комплексов, но и в состав ряда других авиационных комплексов. В частности, входят в состав разведывательных и разведывательно-ударных комплексов, а также авиационных комплексов РЛ наблюдения за районом боевых действий.

Возможность получения РЛИ поверхности земли основана на том, что различные участки поверхности отражают электромагнитные волны с неодинаковой интенсивностью. РЛИ в полярной или в прямоугольной системе координат характеризует распределение мощности (интенсивности) отраженных сигналов от отдельных участков – элементов разрешения на поверхности земли. Для получения РЛИ необходимо применять такие сигналы и антенные системы, которые позволили бы сформировать элементы разрешения на поверхности земли с необходимыми размерами по наклонной дальности и в поперечном направлении.

Наиболее просто получить РЛИ можно путем облучения поверхности земли узким по азимуту (в горизонтальной плоскости) лучом ДН антенны, по которому «пробегают» излученный импульс, имеющий малую длительность, от РЛС до дальних точек поверхности земли.

При повороте ДН по азимуту облучаемая полоска земли смещается и в результате формируется координатная сетка с элементами разрешения, равными по азимуту ширине луча  $\theta_{аз}$ , а по дальности – разрешению по дальности  $\delta D$  (рис. 15.18). Такой способ построения РЛИ называется *радиально-секторным обзором* поверхности земли. Если сектор увеличивается до кругового, то обзор называется *радиально-круговым*. Эти виды обзора поверхности широко применялись в ранних типах РЛС обзора поверхности. Применяются они и в современных ОПРК для общего обзора поверхности (более детально см.гл.16).

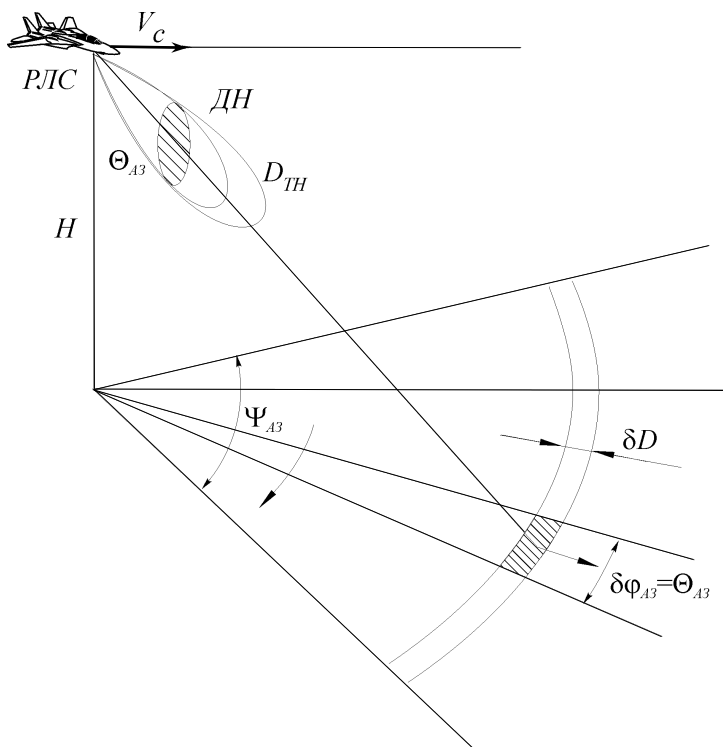


Рис. 15.18

Известно, что отражения электромагнитных волн от поверхности земли может быть зеркальным и рассеянным (диффузным). Зеркальное отражение обычно наблюдается в тех случаях, когда неровности поверхности значительно меньше длины волны («зеркальная» поверхность). Такой тип отражений характерен для водных поверхностей, ровных участков суши, например, взлетно-посадочных полос (ВПП) аэродромов и т.п.

Рассеянное или диффузное отражение наблюдается, когда поверхность «шероховатая», т.е. когда размеры неровностей соизмеримы с длиной волны. К таким поверхностям относятся участки суши: пашни, лесные массивы, кустарники и т.п. Водная поверхность также становится шероховатой, если действуют ветровые волны, рябь на поверхности и т.п.

Обычно РПО с радиально-секторным обзором относятся к импульсным РЛС некогерентного типа. Такие РПО имеют ряд недостатков с точки зрения получения качественного РЛ изображения местности. Главный недостаток – это плохая разрешающая способность РЛС по угловым координатам (в азимутальной плоскости). По этой причине для удовлетворения тактическим требованиям, предъявляемым к РЛС ударных, разведывательных и ударно-разведывательных комплексов, разработаны другие методы формирования РЛИ поверхности с высоким разрешением (см. последующие главы 17 и 18). В основе большинства таких методов лежат когерентные и когерентно-импульсные принципы работы РЛС, позволяющие формировать РЛ изображения, элементы разрешения которых формируются за счет разрешения по доплеровским частотам (по поперечной дальности). По наклонной дальности элементы разрешения образуются за счет выбора разрешения по времени. По азимуту (по поперечной дальности) разрешение практически не зависит от ширины ДН применяемых антенн.

## **2. Оптимальные методы обзора поверхности земли и применяемые сигналы**

Поражение малоразмерных целей в сложных метеоусловиях, днем и ночью, тактическая и оперативная воздушная разведка требуют существенного повышения разрешающей способности РЛС при формировании РЛ изображений поверхности земли и различных объектов на ее поверхности. Повышение разрешения позволяет также решать задачи распознавания и идентификации целей и увеличивает вероятность обнаружения целей на фоне окружающей местности.

Совершенствование и развитие РЛ систем обзора поверхности требуют знания предельных возможностей радиолокационного наблюдения в этих условиях и знания оптимальных методов формирования РЛИ и обзора поверхности, выявления требований к виду применяемых сигналов и к характеристикам РЛ системы.

*Требования к типу применяемых сигналов.* Рассмотрим, каким условиям должны удовлетворять радиолокационные сигналы и система их обработки при наблюдении поверхности земли и формировании радиолокационного изображения. Примем, что сигнал  $s(t)$ , облучающий поверхность, имеет комплексную амплитуду  $\dot{S}(t)$ , которая включает в себя различные виды модуляции

$$s(t) = \dot{S}(t)e^{j2\pi f_c t}. \quad (15.42)$$

Проанализируем операции, которые следует выполнить над принимаемым сигналом для наилучшего отображения функции, характеризующей отражающие свойства наблюдаемой поверхности, то есть *функцию отражения*  $\rho(D, \varphi)$ . Полярные координаты  $D; \varphi$  относятся к некоторой точке на поверхности земли. Влияние диаграммы направленности антенны учтем функцией  $F(\varphi)$ . Сигнал, отраженный от поверхности земли и принимаемый в РЛС, запишем в виде интеграла свертки (см. также гл.12)

$$s_{\text{прм}}(t, \varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} \int \rho(D', \varphi') F(\varphi - \varphi') s\left(t - \frac{2D'}{C}\right) dD' d\varphi'. \quad (15.43)$$

Принимаемый сигнал представляет собой, таким образом, наложение большого числа отражений от распределенной цели, имеющей функцию отражения  $\rho(D, \varphi)$ . Необходимо найти такой алгоритм обработки сигнала  $s_{\text{прм}}(t, \varphi)$ , который позволил бы получить на выходе сигнал, соответствующий функции отражения  $\rho(D, \varphi)$ . В качестве такого алгоритма может быть алгоритм обработки в согласованном фильтре, настроенном на сигнал отражения от точечной цели. На выходе согласованного фильтра получаем

$$y_{\text{вых}}(t_c, \varphi_c) = \int_{-\infty}^{\infty} \int s_{\text{прм}}(t, \varphi) s^*(t - t_c) F^*(\varphi - \varphi_c) dt d\varphi. \quad (15.44)$$

Подставим в формулу (15.44) выражение (15.43)

$$\begin{aligned} \dot{y}_{\text{вых}}(t_c, \varphi_c) = & \int_{-\infty}^{\infty} \int \int \int \dot{\rho}(D', \varphi') F(\varphi - \varphi') s\left(t - \frac{2D'}{C}\right) \times \\ & \times s^*(t - t_c) F^*(\varphi - \varphi_c) dD' d\varphi' dt d\varphi. \end{aligned} \quad (15.45)$$

Изменим порядок интегрирования так, чтобы в первую очередь взять интегралы по  $t$  и азимутальному углу  $\varphi$ . В результате интегрирования по  $t$  и  $\varphi$  получаем выражение, которое соответствует обобщенной функции неопределенности пространственного сигнала:

$$\Psi_{S,F}(D', \varphi', t_c, \varphi_c) = \int_{-\infty}^{\infty} \int \dot{\rho}(D', \varphi') \Psi_{S,F}(D', \varphi', t_c, \varphi_c) dD' d\varphi'. \quad (15.46)$$

Подставим (15.46) в формулу (15.45) и получаем

$$\dot{y}_{\text{вых}}(t_c, \varphi_c) = \int_{-\infty}^{\infty} \int \dot{\rho}(D', \varphi') \Psi_{S,F}(D', \varphi', t_c, \varphi_c) dD' d\varphi'. \quad (15.47)$$

Из формулы (15.47) следует, что обобщенная функция неопределенности  $\Psi_{S,F}$  выполняет роль весовой функции для функции отражения от поверхности земли  $\dot{\rho}(D', \varphi')$ . Выходной сигнал  $\dot{y}_{\text{вых}}(t_c, \varphi_c)$  представляет собой усредненное взвешенное значение  $\rho(D', \varphi')$  в области, определяемой функцией неопределенности  $\Psi_{S,F}$ . Если функция неопределенности по своей форме приближается к узкому пику, то выходной сигнал согласованного фильтра соответствует с достаточной степенью близости функции отражения  $\dot{\rho}(D', \varphi')$ . В частном случае, когда функция неопределенности близка к дельта-функции:



$$\Psi_{S,F}(D', \varphi', t_c, \varphi_c) = \delta(D_c - D', \varphi_c - \varphi'), \quad (15.48)$$

где  $D_c = ct_c/2$ , получаем, что выходной сигнал согласованного фильтра точно отображает функцию отражения  $\rho(D', \varphi')$ :

$$y_{\text{вых}}(t_c, \varphi_c) = \int \int_{-\infty}^{\infty} \dot{\rho}(D', \varphi) \delta(D_c - D'; \varphi_c - \varphi') dD' d\varphi' = \rho(D_c, \varphi_c). \quad (15.49)$$

Таким образом, приходим к важному выводу, что для точного отображения структуры поверхности земли и получения РЛИ необходимо применять такие радиолокационные сигналы, которые имеют возможно более высокую разрешающую способность по дальности, а устройство измерения угловых координат должно иметь высокое разрешение по азимуту, то есть узкую функцию неопределенности по угловым координатам. Действительно, выражение (15.46) показывает, что обобщенная функция неопределенности  $\Psi_{S,F}$  может быть представлена в виде произведения функций неопределенности сигнала  $\Psi_S$  и функции неопределенности пеленгационного устройства (антенной системы)  $\Psi_F$  (см.гл.6):

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}_{S,F}(D', \varphi', t_c, \varphi_c) &= \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}\left(t - \frac{2D'}{c}\right) S^* \left(t - \frac{2D_c}{c}\right) dt \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \dot{F}(\varphi - \varphi') \dot{F}^*(\varphi - \varphi_c) d\varphi \end{aligned} \quad (15.50)$$

и получаем

$$\Psi_{S,F}(D', \varphi', t_c, \varphi_c) = \Psi_S(D', D_c) \Psi_F(\varphi', \varphi_c). \quad (15.51)$$

где функция неопределенности излучаемого сигнала представлена в виде сечения по оси задержки  $D_c$  и равна

$$\dot{\Psi}_S(D', D_c) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}\left(t - \frac{2D'}{c}\right) \dot{S}^* \left(t - \frac{2D_c}{c}\right) dt, \quad (15.52)$$

а функция неопределенности пеленгационного устройства ФН по угловым координатам равна

$$\Psi_F(\varphi', \varphi_c) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{F}(\varphi - \varphi') \dot{F}^*(\varphi - \varphi_c) d\varphi. \quad (15.53)$$

Развитие всех современных систем обзора поверхности земли осуществляется в направлении обеспечения более высокой разрешающей способности по дальности и по угловым координатам (по азимуту). Способы обеспечения высокого разрешения по дальности известны (см.гл.7). Основное внимание в дальнейшем в гл.18 и 19 уделяется рассмотрению способов получения высокого разрешения по угловым координатам.

Увеличение разрешающей способности при картографировании поверхности и при наблюдении наземных и надводных целей повышает эффективность РЛС и с точки зрения обнаружения малоразмерных целей на фоне мешающих отражений от окружающих местных предметов и поверхности земли. Рассмотрим этот вопрос более детально.

### **3.Особенности обнаружения малоразмерных наземных целей на фоне окружающей местности**

Как уже отмечалось, обнаружению малоразмерных «точечных» целей затруднено мешающими отражениями от местных предметов, гидрометеорологических образований и поверхности земли. Распределенные цели в этом случае не являются объектом наблюдения и рассматриваются как помехи. Это обстоятельство позволяет применить методы обработки сигналов, улучшающие обнаружение и разрешение малоразмерных целей: позиций ракет, кораблей, самолетов на аэродромах и т.п. При наблюдении множественных целей необходимо обеспечить обнаружение всех объектов и оценить их ЭПО с необходимой точностью, если, конечно, все такие цели представляют интерес для радиолокационного наблюдения. При наличии мешающих отражений основной задачей при обнаружении отдельных точечных целей является выделение этих целей на фоне мешающих отражений (МО). Так как нет необходимости иметь точное

52. Изд.№9768

отображение структуры распределения ЭПО мешающих отражений, то их действие можно рассматривать как шумоподобные помехи и задача обработки сигналов сводится к обнаружению целей на фоне шумов. Рассмотрим простейший случай, когда мешающие отражатели распределены только по дальности, разрешение целей возможно по времени запаздывания. С позиции теории согласованной фильтрации сигнал следует выбрать таким образом, чтобы минимизировать мешающее воздействие от помеховых отражателей. Во-первых, следует выбрать ширину спектра так, чтобы элемент разрешения был достаточно малым, чтобы полная ЭПО мешающих отражателей в элементе разрешения была меньше ЭПО цели в заданном отношении. Таким образом, помехи внутри элемента разрешения будут оказывать малое влияние. Во-вторых, следует выбрать форму спектра сигнала так, чтобы устранить боковые лепестки функции неопределенности по дальности. Этим обеспечивается уменьшение помех, попадающих из других элементов разрешения в заданный. Уменьшение размера элемента разрешения возможно только до определенных пределов, так как сама наблюдаемая цель имеет конечные размеры по дальности. Подавление боковых лепестков также ограничено различными нестабильностями и возможными нелинейностями в устройствах формирования сигналов. Конечно, должна быть уменьшена область облучения мешающих объектов путем сужения диаграммы направленности антенны.

Другой подход к проблеме подавления мешающих отражений основан на рассмотрении их как независимых шумовых воздействий. При заданном виде сигнала можно оптимизировать устройство обработки (фильтровую систему приемника), добиваясь, например, максимального отношения сигнал-шум. Если отражатели независимы, имеют примерно одинаковые ЭПО и их количество большое, то мешающие отражения имеют гауссовские статистические характеристики. Соответствующий случайный процесс можно рассматривать как стационарный, так как отражатели равномерно распределены по дальности в пределах определенного участка.

*Оптимальный фильтр подавления мешающих отражений.* Рассмотрим кратко результаты оптимизации системы обработки для подавления мешающих отражений. Мешающие отражения (МО) отличаются от внутренних шумов зависимостью спектральной плотно-

сти от частоты. Следовательно, их можно рассматривать как коррелированные шумы. Как известно, фильтр, максимизирующий отношение сигнал-шум при гауссовских коррелированных шумах, имеет передаточную характеристику вида

$$\dot{H}_{\text{опт}}(f) = \frac{\dot{S}^*(f)}{N(f)}, \quad (15.54)$$

где  $\dot{S}(f)$  – частотный спектр комплексной амплитуды сигнала РЛС, а  $N(f)$  – сумма спектральных плотностей внутренних шумов и мешающих отражений. В рассматриваемом случае спектральная плотность мешающих отражений  $N_{\text{мс}}$  пропорциональна спектру мощности излученного сигнала

$$N_{\text{мс}}(f) = K|\dot{S}(f)|^2. \quad (15.55)$$

В результате передаточная характеристика оптимального фильтра имеет вид

$$\dot{H}_{\text{опт}}(f) = \frac{\dot{S}^*(f)}{N_o + k|\dot{S}(f)|^2}, \quad (15.56)$$

где  $N_o$  – спектральная плотность внутренних шумов.

При отсутствии МО коэффициент  $k=0$  и  $\dot{H}_{\text{опт}}(f)$  является передаточной функцией согласованного фильтра. В другом предельном случае, когда внутренними шумами можно пренебречь по сравнению с мешающими отражениями, получаем

$$\dot{H}_{\text{опт}}(f) = \frac{1}{k\dot{S}(f)}. \quad (15.57)$$

Фильтр с передаточной характеристикой (15.57) называется фильтром режекции мешающих отражений, который исследовался Урковицем. При  $k=1$  такой фильтр соответствует *инверсному фильтру*, который обеспечивает наилучшее разрешение целей при отсут-

52\*

ствии действия внутренних шумов (см.гл.6). Инверсный фильтр поз-

воляет получить на выходе сигналы, приближающиеся по форме к коротким импульсам (дельта-функциям).

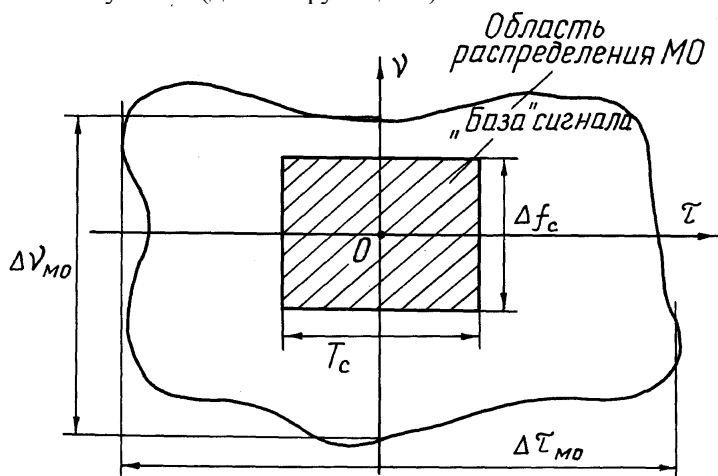


Рис. 15.19

*Выбор сигналов при обнаружении малоразмерных («точечных») целей.* Рассмотрим эффективность подавления МО в зависимости от выбора излучаемого сигнала. Полагаем, что мешающие отражения распределены как по задержке (по дальности), так и по частоте Доплера, причем в больших пределах, чем ширина спектра и длительность сигнала  $T_c$  (рис. 15.19). В этом случае обнаружение цели на фоне мешающих отражений затруднено рядом факторов. Сигнал цели должен быть значительно интенсивнее, чем мешающие отражения, обусловленные отражателями, расположенными в том же элементе разрешения, что и цель. Следовательно, размеры элемента разрешения должны быть достаточно малы, так чтобы влияние МО было незначительным. Это очевидное требование. Кроме того, взаимные мешающие отражения (взаимные помехи), обусловленные отражателями, расположенными в других элементах разрешения, не должны иметь большую мощность, препятствующую наблюдению заданной цели. Если не учитывать помеховые сигналы от отражателей, которые расположены в пределах элемента разрешения, где находится цель, то обнаружить цель можно только в том

случае, когда ЭПО цели  $\sigma_c$  в  $R_o$  раз больше значения ЭПО мешающих отражений, приходящихся на один элемент разрешения  $\sigma_{mo}$ , и умноженного на  $Q_c$ , где  $Q_c$  – качество сигнала, равное

$$Q_c = T_c \Delta f_c,$$

а  $R_o$  – отношение мощности сигнала цели и МО, необходимое для обнаружения. Имеем:

$$\frac{\sigma_c Q_c}{\sigma_{mo}} = R_o = \frac{\sigma_u}{\sigma_y}, \quad \sigma_{mo} = \sigma_y Q_c.$$

Это положение доказано ниже. Увеличение  $Q_c$  не улучшает условия обнаружения цели, хотя размеры элемента разрешения при этом и уменьшаются. Это обусловлено тем, что уменьшение элемента разрешения не изменяет уровень взаимных мешающих помех, если пространство МО значительно больше единичного элемента разрешения, равного  $\delta\tau\delta\nu = 1$ , где  $\delta\tau$  – интервал разрешения по величине задержки, а  $\delta\nu$  – разрешение по доплеровским частотам. Уменьшение размеров элемента разрешения  $(\delta\tau, \delta\nu)$  уменьшает только ту часть ЭПО мешающих отражателей, которые находятся в пределах элемента разрешения, где находится и данная цель.

Для доказательства высказанного выше положения рассмотрим вначале случай, когда мешающие объекты занимают область (рис. 15.20,а) на плоскости  $(\tau, \nu)$  меньше, чем размеры пьедестала «кнопкообразной» функции неопределенности (рис. 15.20,б), которую выбираем в качестве наиболее приемлемой для разрешения целей, так как она имеет узкий центральный лепесток. Можно ожидать, что такой узкий центральный лепесток обеспечит разрешение близкорасположенных целей. При большом значении  $Q_c = T_c \Delta f_c$  объем центрального пика в процентном отношении сравнительно мал. Основная часть объема ФН, а точнее  $|\Psi_s(\tau, \nu)|^2$  сосредоточена в пьедестале. Высота пьедестала равна  $1/T_c \Delta f_c$ .

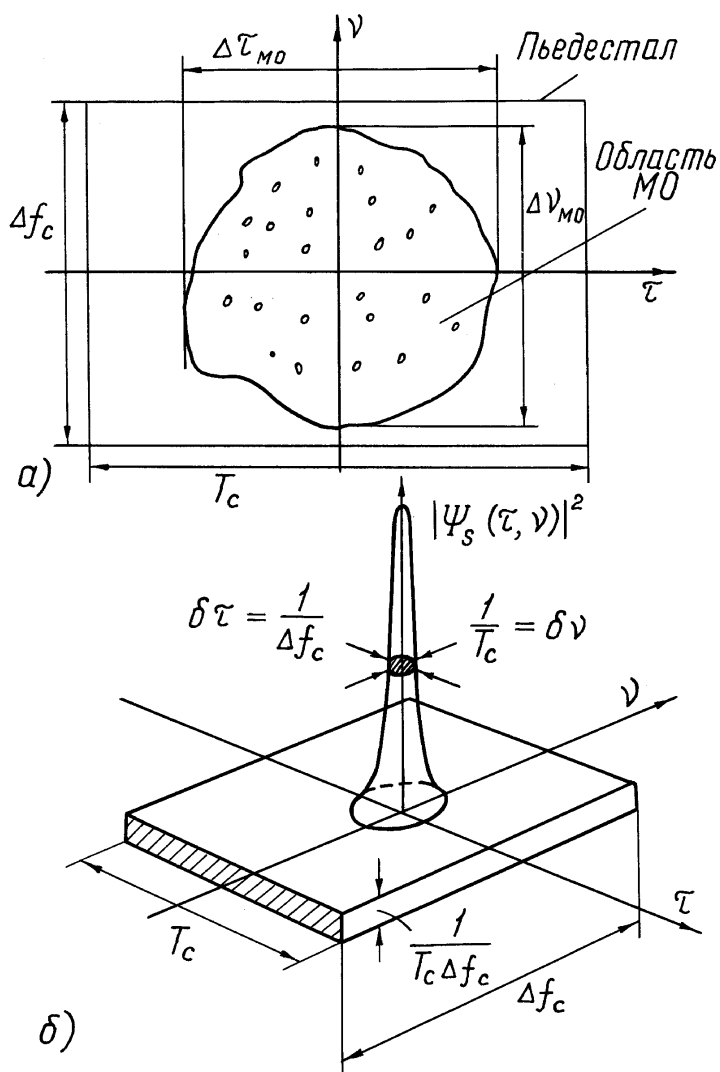


Рис. 15.20

Допустим, что область мешающих отражений имеет  $N$  дискретных одинаковых отражателей с общей ЭПО  $\sigma_{\text{мо}} = \sigma_o N$ , где  $\sigma_o$  – ЭПО одного отражателя. Для определения уровня взаимных помех в пределах элемента разрешения цели каждому отражателю приведем в соответствие функцию неопределенности (с высотой пика, равной единице, и высотой пьедестала  $1/T_c \Delta f_c$ ).

Функцию неопределенности умножаем на ЭПО отдельного отражателя и затем суммируем мощности всех сигналов МО. В результате наложения боковых лепестков функции неопределенности (в виде области пьедестала) получаем результирующую высоту  $h_{\text{р.п}}$  пьедестала МО (это мощность МО):

$$P_{\text{мо}} = h_{\text{р.п}} = \sum_{i=1}^N \sigma_i \frac{1}{T_c \Delta f_c} = \frac{\sigma_{\text{мо}}}{T_c \Delta f_c} = N \frac{\sigma_o}{T_c \Delta f_c}. \quad (15.58)$$

Если ЭПО цели обозначить  $\sigma_{\text{ц}}$ , то отношение сигнал-мешающие отражения по мощности равно

$$\frac{P_c}{P_{\text{мо}}} = \frac{\sigma_{\text{ц}}}{h_{\text{р.п}}} = \frac{\sigma_{\text{ц}}}{\sigma_o} \frac{T_c \Delta f_c}{N} = \frac{\sigma_{\text{ц}}}{\sigma_{\text{мо}}} \cdot Q_c. \quad (15.59)$$

Для обнаружения цели на фоне МО необходимо иметь определенную величину отношения:

$$(P_c / P_{\text{мо}})_{\text{обн}} = R_o, \quad (15.60)$$

которую можно выбрать по характеристикам обнаружения (см.гл.3).

Перейдем к рассмотрению случая, когда область МО значительно больше зоны пьедестала одиночной цели (см. рис. 15.19). Допустим, что ЭПО одного элемента разрешения соответствует одному отражателю. В этом случае очевидно, что общее количество таких эквивалентных отражателей, которые создают взаимные помехи, равно

$$N_s = \frac{T_c \Delta f_c}{\delta \tau \delta \nu} = \frac{T_c \Delta f_c}{(1/\Delta f_c)(1/T_c)} = (T_c \Delta f_c)^2.$$



Подставим это значение  $N_3$  в формулу (15.59) в качестве величины числа отражателей  $N$ . Получаем

$$\left( \frac{P_c}{P_{\text{мо}}} \right) = \frac{1}{T_c \Delta f_c} \frac{\sigma_{\text{ц}}}{\sigma_o}. \quad (15.61)$$

Формула (15.61) (с учетом 15.60) показывает, что обнаружение цели, имеющей ЭПО  $\sigma_{\text{ц}}$ , возможно, если эта величина в  $T_c \Delta f_c R_o$  раз больше величины  $\sigma_o$  – ЭПО одиночного эквивалентного отражателя. Введем удельное значение ЭПО для области мешающих отражений  $\sigma_y$ , которую определим как величину ЭПО на единичный элемент на поверхности «задержка-частота» ( $\tau, \nu$ ). Тогда

$$\sigma_o = \sigma_y \delta \tau \delta \nu = \frac{\sigma_y}{T_c \Delta f_c}. \quad (15.62)$$

Подставив (15.62) в формулу (15.61), получаем

$$\left( \frac{P_c}{P_{\text{мо}}} \right) = \frac{\sigma_{\text{ц}}}{\sigma_y}.$$

Тогда при обнаружении

$$\left( \frac{P_c}{P_{\text{мо}}} \right)_{\text{обн}} = R_o = \frac{\sigma_{\text{ц}}}{\sigma_y}. \quad (15.63)$$

Таким образом, обнаружение цели возможно, если ЭПО цели больше поверхностной плотности ЭПО (удельной ЭПО, определенной выше) в заданное число  $R_o$  раз, зависящее от заданной вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги. Отметим, что указанное условие обнаружения цели не зависит от размеров элемента разрешения и, как следствие, не зависит от формы сигнала.

В тех случаях, когда пространство МО (на плоскости  $\tau, \nu$ ) имеет ограничение, например, ширина области по оси доплеровских частот меньше ширины спектра сигнала (рис. 15.21) или протяженность цели по оси  $\tau$  меньше длительности сигнала, уменьшение эле-

мента разрешения является эффективным способом увеличения отношения сигнал-мешающие отражения. Во-первых, при этом уменьшается ЭПО мешающих отражателей, находящихся в элементе разрешения. Во-вторых, уровень взаимных мешающих отражений обратно пропорционален размеру элемента разрешения, так как уровень боковых лепестков («высота» пьедестала функции неопределенности) соответствует величине  $1/T_c \Delta f_c$ . Эквивалентное полное количество отражателей  $N_3$  в пределах области мешающих отражений равно

$$N_3 = \frac{\Delta \tau_{\text{МО}} \Delta v_{\text{МО}}}{\delta \tau \delta v} = \Delta \tau_{\text{МО}} \Delta v_{\text{МО}} (T_c \Delta f_c), \quad (15.64)$$

где  $\Delta \tau_{\text{МО}}$  и  $\Delta v_{\text{МО}}$  – размеры области мешающих отражений (см. рис. 15.19). Подставим (15.62) и (15.64) в формулу (15.59), получим

$$\frac{P_c}{P_{\text{МО}}} = \frac{\sigma_{\text{ц}}}{\sigma_y} \frac{T_c \Delta f_c}{\Delta \tau_{\text{МО}} \Delta v_{\text{МО}}}. \quad (15.65)$$

В широко распространенном случае, когда  $\Delta v_{\text{МО}} < \Delta f_c$ , а  $\Delta \tau_{\text{МО}} \gg T_c$  (рис. 15.21), в формуле (15.65) следует приравнять  $T_c = \Delta \tau_{\text{МО}}$  и тогда получаем

$$\frac{P_c}{P_{\text{МО}}} = \frac{\sigma_{\text{ц}}}{\sigma_y} \frac{\Delta f_c}{\Delta v_{\text{МО}}} \quad (15.66)$$

или

$$\frac{P_c}{P_{\text{МО}}} = \frac{\sigma_{\text{ц}}}{\sigma_y} \frac{1}{\Delta v_{\text{МО}} \delta \tau}. \quad (15.67)$$

Формула (15.67) показывает, что обнаружение цели на фоне МО при росте разрешающей способности РЛС по дальности становится более эффективным, если область МО на плоскости  $(\tau, v)$  по оси  $v$  ограничена.

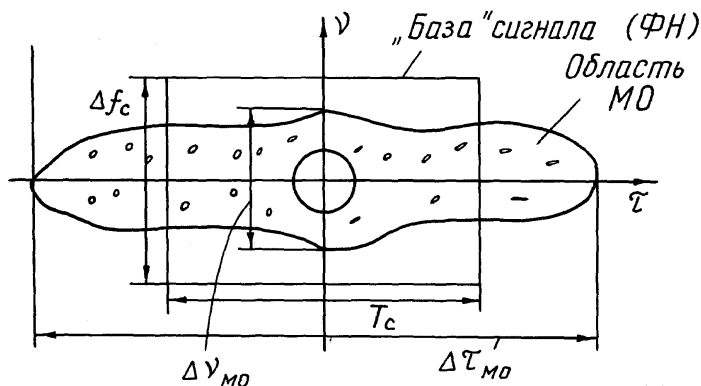


Рис. 15.21

Анализ отношений  $P_c$  и  $P_{мо}$  выполнен с упрощением, так как использовалось представление функции неопределенности в виде «кнопочной» функции (см. рис. 15.20,б). В общем случае следует использовать общую формулу (15.47). Отношение мощности сигнала, отраженного от цели, к средней мощности мешающих отражений на выходе согласованного фильтра находится по формуле (см. гл.12)

$$\frac{P_c}{P_{мо}} = \sigma_{ц} / \int \int_{-\infty}^{\infty} \rho(\tau, \nu) |\Psi_{so}(\tau - \tau_c; \nu - \nu_c)|^2 d\tau d\nu, \quad (15.68)$$

где  $\Psi_{so}$  – нормированная функция неопределенности сигнала,  $\rho(\tau, \nu)$  – распределение удельной ЭПО мешающих отражений (функция отражения) на плоскости  $(\tau, \nu)$ . При этом использована запись для мощности полезного сигнала, отраженного от цели, на выходе согласованного фильтра в виде

$$P_c = k_{\sigma} \sigma_{ц} |\Psi_s(0,0)|^2, \quad (15.69)$$

где  $k_{\sigma}$  – коэффициент пропорциональности. Формула (15.68) позволяет оценивать различные случаи наблюдения цели на фоне мешающих отражений. Исследования показали, однако, что приведенные

выше соотношения и выводы, относящиеся к кнопочной ФН справедливы и для других видов функции неопределенности.

## 15.4. ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ

1. Бомбардировщик выполняет бомбометание с горизонтального полета на высоте 10000 м. Воздушная скорость самолета 1100 км/час. Баллистические параметры бомб: характеристическое время падения 55 с, отставание 3 км. Определить дальность бросания бомбы при наличии ветра со скоростью 22 м/с. Вектор скорости ветра составляет угол  $42^\circ$  к вектору воздушной скорости самолета.

2. По условиям задачи 1 определить, на какой угол смещается линия визирования цели к моменту бросания бомбы относительно начального значения, когда самолет выходит на линию боевого пути на удалении 60 км от цели.

3. Определить требуемую дальность обнаружения авианосного ударного соединения для РЛС стратегического бомбардировщика при применении крылатой ракеты «воздух-поверхность» с дальностью пуска 170 км. Высота полета самолета 11000 м, скорость (путевая) 1350 км/ч. В момент обнаружения линия визирования цели отклонена на  $46^\circ$  относительно вектора путевой скорости самолета.

4. Определить требуемую дальность обнаружения наземного препятствия (возвышенность) в РЛС профильного полета фронтового бомбардировщика при выполнении им полета на малой высоте 45 м с облетом препятствий со скоростью 860 км/ч. Допустимый угол набора высоты (угол кабрирования)  $16^\circ$ . Перепад высоты препятствия относительно ровного участка поверхности равен 1500 м.

5. Определить размер сектора обзора поверхности по азимуту в РЛС профильного полета фронтового бомбардировщика при выполнении им полета на малой высоте с обходом препятствий, которые имеют протяженность в азимутальной плоскости 6 км с разрывами 3-4 км между ними (по азимуту). Коридор пролета между препятствиями должен быть не менее 120 м. Скорость полета самолета 830 км/ч. При маневрировании в горизонтальной плоскости при вы-

полнении правильного виража допустимо изменение курса не более чем на  $22^\circ$ .

6. В самолетной РЛС обзора поверхности моря применяются сигналы в виде импульсов длительностью 4 мкс с линейной частотной модуляцией несущей (ЛЧМ-импульсы) в пределах 30 МГц. Определить тип цели (ее ЭПО), которую можно обнаружить на фоне морской поверхности при волнении 4 балла с вероятностью 85%: при допустимой вероятности ложной тревоги  $10^{-2}$ . ДН антенны имеет ширину по азимуту  $2,5^\circ$ . Частота несущей 12 ГГц. Скорость и высота полета соответственно равны 920 км/ч и 9800 м.