

содержание

Введение	2
1 Разрешающая способность по азимуту.....	5
2 Разрешающая способность по поверхностной дальности	5
3 Принцип РСА.....	7
Список литературы.....	14

Введение

В современных комплексах воздушной разведки широкое использование при ведении всепогодной разведки находят радиолокационные станции (РЛС). Это обусловлено тем, что радиолокационное наблюдение обладает целым рядом преимуществ перед визуальным наблюдением и аэрофотосъемкой местности. Так, вследствие значительно меньшего ослабления радиоволн при их распространении и атмосфере обеспечивается всепогодность радиолокационного наблюдения, то есть возможность наблюдения сквозь дымку, облака, туман и дождь, а также сквозь дымовую завесу и пылевые облака. Работа РЛС не зависит от условий естественной освещенности земли, следовательно, возможно радиолокационное наблюдение в любое время суток.

1. РЛС панорамного обзора

Радиолокационные станции могут обеспечить наблюдение участка земной поверхности, находящегося на большом удалении от самолета. Наконец, благодаря значительному различию характера отражения от объектов и земной поверхности радиоволн и световых волн возможно наблюдение деталей, невидимых в оптическом диапазоне волн, например металлических объектов, окрашенных под фон местности. Важным преимуществом РЛС является также практическая возможность выделения (селекции) движущихся целей [4].

Самолетные *РЛС панорамного обзора* использовались для обнаружения наземных объектов еще со времен второй мировой войны. В отличие от большинства других разведывательных средств они обеспечивают всепогодное наблюдение земной поверхности и объектов. Однако вследствие низкой угловой разрешающей способности такие РЛС не позволяли получать детальные радиолокационные изображения, необходимые для воздушной разведки. На экране РЛС оператор наблюдал лишь отдельные пятна, соответствующие крупным населенным пунктам, мостам, кораблям и т.п.

Панорамные РЛС осуществляют обзор земной поверхности путем кругового вращения или секторного качания луча антенны в азимутальной плоскости. При этом на индикаторе можно наблюдать изображение местности в зоне обзора, имеющей вид круга или сектора с максимальным радиусом, равным дальности действия РЛС.

В то же время ширина луча на местности по азимуту (линейное разрешение по азимуту) увеличивается пропорционально наклонной дальности. Например, при длине волны 3 см и размере антенны 150 см угловая ширина луча составляет $1,15^\circ$ и на дальности 120 км разрешение равно 2,5 км. Такая низкая разрешающая способность приводит к тому, что на индикаторе панорамной РЛС обычно наблюдаются отметки только от крупных объектов (мостов, населенных пунктов, кораблей). Вследствие этого панорамные РЛС не могут выполнять целый ряд задач, связанных с радиолокационной разведкой, картографированием местности, геофизической разведкой и т.п.

2. РЛС бокового обзора

Радиолокаторы бокового обзора (РБО) являются естественной модификацией импульсных РЛС кругового обзора при размещении их на летательном аппарате (ЛА). В отличие от РЛС кругового обзора антенна РБО неподвижна относительно корпуса ЛА и развёртка радиолокационного изображения поверхности Земли обеспечивается движением ЛА.

Радиолокационное изображение (РЛИ), облучаемой поверхности Земли формируется из амплитуды переотражённых в обратном направлении зондирующих импульсов РЛС и является модулем комплексного коэффициента обратного рассеяния поверхности Земли. Каждый отражённый импульс является строчкой дискретного РЛИ, столбцами, которого являются отсчёты отражённых импульсов.

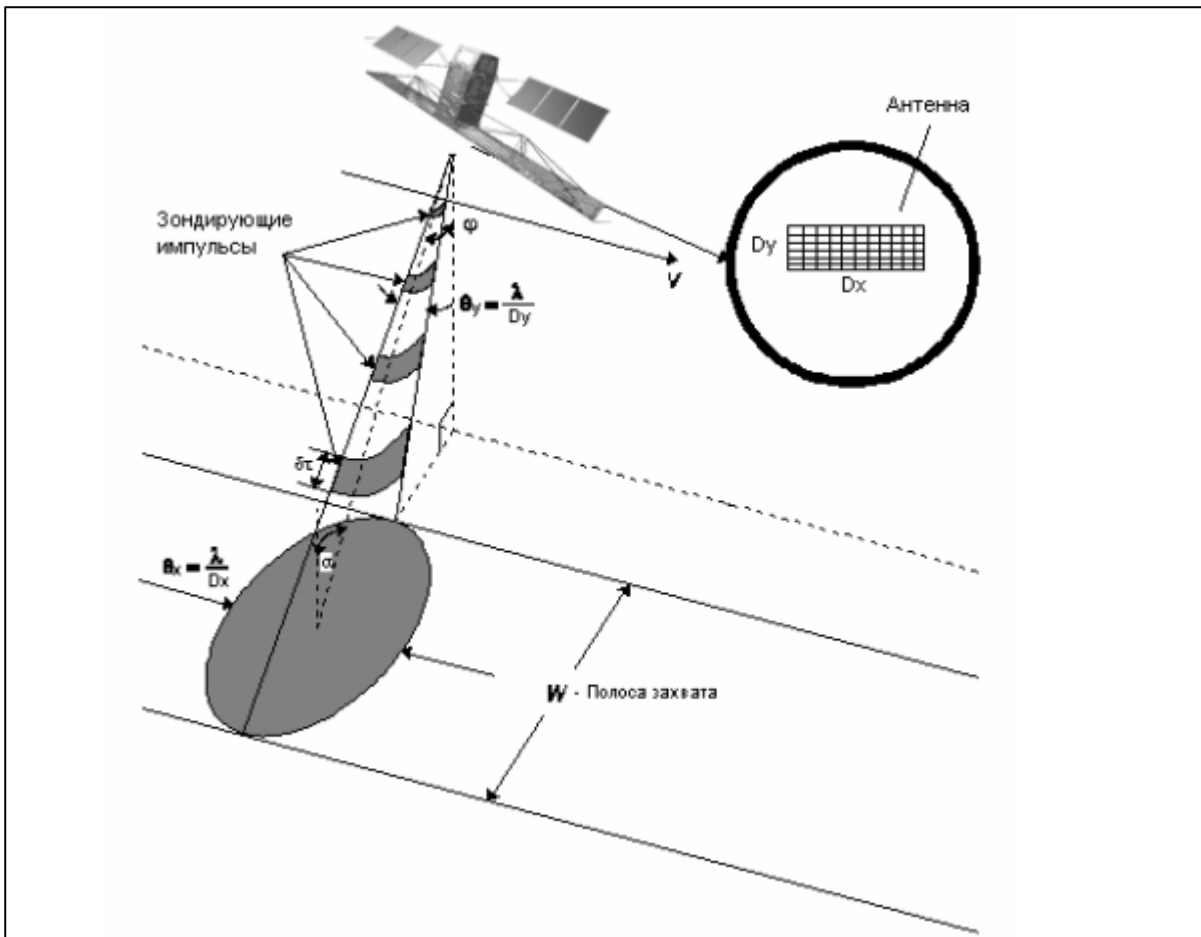


Рис. 1. Принципы построения РБО.

на рисунке Рис. 1. w - полоса захвата, h - высота ЛА, φ - угол места, θ_y - ширина диаграммы направленности антенны РБО в этом сечении, λ - длина волны РЛС, D_x - горизонтальный раскрыв антенны, θ_x - Разрешение вдоль линии пути, R - Разрешающая способность по наклонной дальности, $\delta\tau$ - длительность зондирующего импульса, α - угла падения.

Размер РЛИ (или полоса захвата РБО) по оси Y определяется шириной диаграммы направленности антенны РБО в этом сечении – θ_y , углом места φ , и высотой ЛА – h (см. рис. 1). В предположении плоской отражающей поверхности [2]:

$$w = h \left(\frac{1}{\cos\left(\varphi + \frac{\theta_y}{2}\right)} - \frac{1}{\cos\left(\varphi - \frac{\theta_y}{2}\right)} \right) \quad (1).$$

Очевидно, что размер РЛИ вдоль оси X ограничен только временем работы РЛС.

1 Разрешающая способность по азимуту

Линейная разрешающая способность по азимуту РБО (вдоль оси X) характеризует возможность различения на РЛИ двух близкорасположенных точечных целей, и определяется шириной диаграммы направленности антенны в сечении азимута и наклонной дальностью до цели [1]:

$$\Delta_x = \theta_x R = R \frac{\lambda}{D_x} . \quad (2)$$

где λ - длина волны РЛС, D_x - горизонтальный раскрыв антенны, θ_x - Разрешение вдоль линии пути, R - Разрешающая способность по наклонной дальности.

Разрешающая способность РБО по наклонной дальности определяется только типом зондирующего сигнала и при использовании простого радиоимпульса равна $\Delta_r = c \delta\tau/2$ где $\delta\tau$ -длительность зондирующего импульса. а при использовании сложных сигналов определяется эффективной полосой частот сигнала, т.е. $\Delta_r = \frac{c}{2\Delta f_{\Sigma}}$.

Для современных РБО разрешение на местности может составлять десятки и даже сотни метров. Оно, в основном, определяется возможностью реализации разрешения по дальности, которое ограничивается габаритами (горизонтальным размером) антенны, размещаемой на летательном аппарате. Так, например, при длине волны РЛС $\lambda = 2$ см, размере антенны $D_x = 6$ м и наклонной дальности до цели $R = 15$ км разрешение по линии пути составляет $\Delta_x = 50$ м. Для космических РБО "Космос-1500" $\Delta_x = 1,5 - 2$ км [3].

2 Разрешающая способность по поверхностной дальности

Для решения задачи формирования радиолокационного изображения с заданным качеством важную роль играет разрешающая способность РБО по поверхностной дальности (см. рис. 2), которая зависит от угла падения α [1]:

$$\Delta_y = \frac{c}{2\Delta f_{\Sigma} \cos(\alpha)} \quad (3)$$

Где c - скорость света, α - угол падения, Δf_{Σ} - эффективный полосы частот сигнала

и для плоской поверхности равна $\Delta_r/\sin(\varphi)$. Данная зависимость показывает, что разрешающая способность РБО по поверхностной дальности резко падает при малых углах места, поэтому РБО обычно работают при углах места $>10^\circ$.

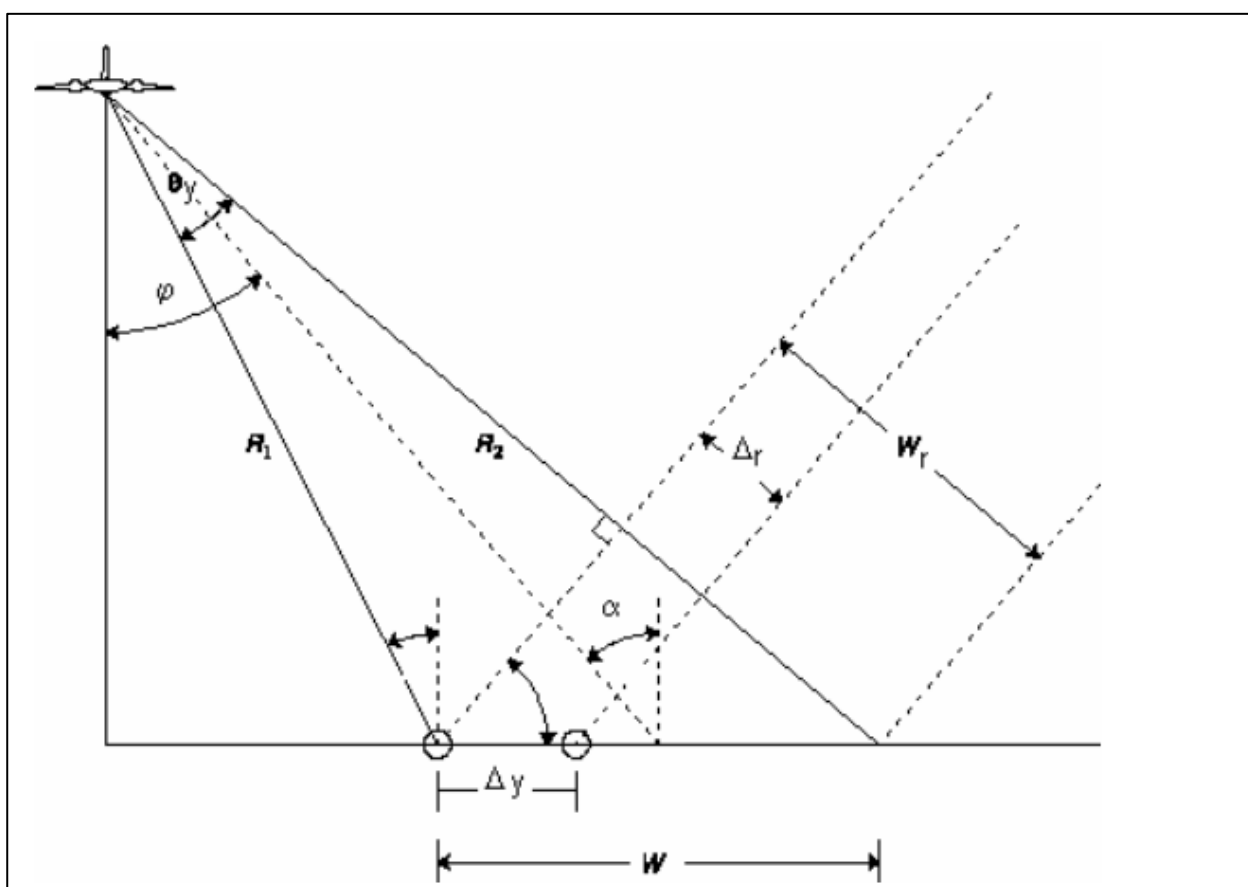


Рис. 2. Разрешающая способность по наклонной и поверхностной дальности.

Радиолокационные станции бокового обзора являются эффективным средством исследования земной поверхности. К их достоинствам относятся сравнительная простота, высокое качество и информативность изображения (по сравнению с панорамными РЛС) [2].

Существенным недостатком РБО является то, что по разрешающей способности они значительно уступают аэрофотоаппаратам, ибо для получения сравнимого с ними разрешения антенна РЛС должна иметь длину, равную сотням метров. Естественно, что установить такую антенну на самолете не представляется возможным.

Т. о. увеличение разрешающей способности РБО по дальности обеспечивается использованием более широкополосных зондирующих сигналов и легко достижимо, в тоже время увеличение разрешающей способности по азимуту требует увеличения отношения длины антенны к длине волны до величины, сравнимой с расстоянием до цели, что, как правило, сопряжено с большими техническими проблемами.

Дальнейшим совершенствованием методов бокового обзора является применение принципа синтезирования апертуры антенны. Он позволяет значительно улучшить разрешение по линии пути и сделать его одинаковым независимо от дальности. В целом, качество изображения, получаемого РСА, приближается к качеству аэрофотоснимков, что делает их наиболее эффективными для картографирования и исследования природных ресурсов [1].

3 Принцип РСА

Альтернативный путь резкого увеличения азимутальной разрешающей способности РБО без увеличения размеров реальной антенны – использование метода синтезирования апертуры антенны, который обеспечивает практически неограниченное увеличение отношения D_x/λ , за счёт использования специальной пространственно-временной обработки отражённых сигналов [2].

Радиолокатор бокового обзора, использующий метод синтезирования апертуры для формирования РЛИ с высоким разрешением, называется радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА).

Принцип синтезирования апертуры можно пояснить на следующем примере (рис.1.3). Выше было отмечено, что ширина луча диаграмма антенны

обратно пропорциональна её раскрытию, и для получения высокого разрешения вдоль линии пути необходимо максимально увеличивать горизонтальный размер антенны D_g . Такую вытянутую по горизонтали антенну можно заменить набором маленьких антенн, питаемых высокочастотными колебаниями с одной и той же фазой (длина пути от общего волновода до каждой антенны должна быть одинаковой). Диаграммы такой расчлененной и нерасчлененной антенн будут совпадать. Принцип синтезирования состоит в том, что на самолете устанавливается малая антенна, приемопередатчик делается когерентным, способным определять не только огибающую, но и фазу отраженного сигнала.

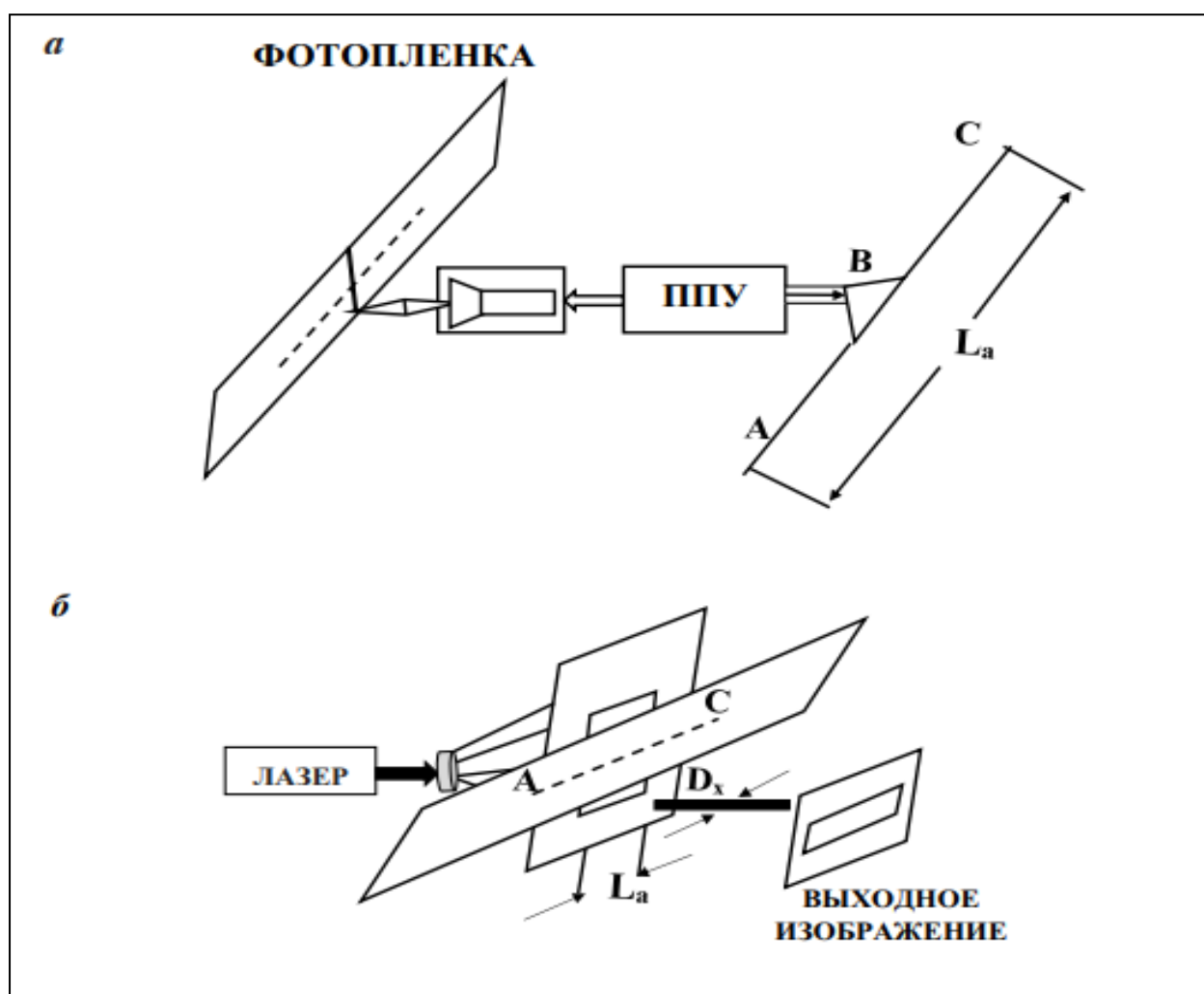


Рис.3. Принцип построения РСА:

a- бортовая аппаратура РСА; *б* - оптическая обработка информации, ППУ - приемно-передающее устройство, АС - интервал синтеза апертуры длиной L_a , В – текущее положение РЛС

Рассмотрим принцип формирования РЛИ в РСА. Пусть точечная цель облучается последовательностью радиоимпульсов с частотой повторения значительно более высокой, чем в РБО (рис. 4).

В момент времени t_1 приходит первый, отраженный от цели импульс, в t_N последний. В течение этого времени антенна перемещается в пространстве на расстояние L_s , которое называют длиной синтезированной апертуры (равна разрешающей способности РБО).

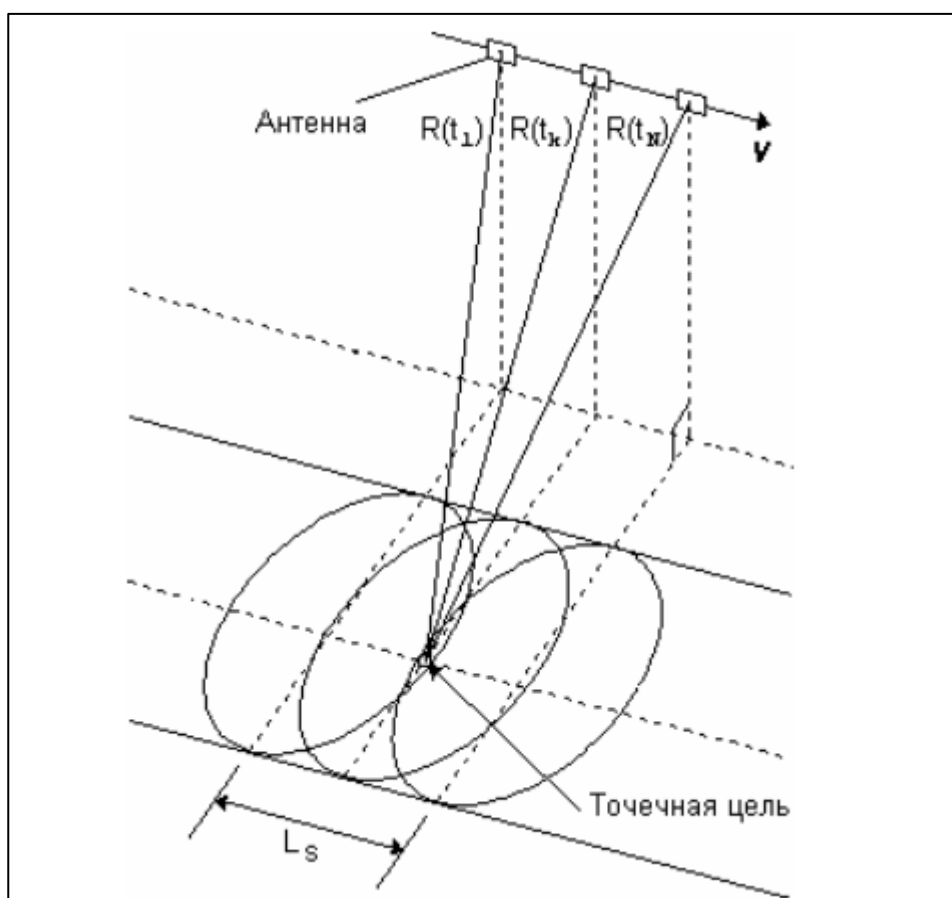


Рис. 4. Принцип синтеза апертуры в РСА

Каждый k -й отражённый радиоимпульс в этой пачке получает задержку $\tau(t_k)=2R(t_k)/c$, фазовый сдвиг несущего колебания $\phi(t_k)=4\pi R(t_k)/\lambda$ и некоторый амплитудный коэффициент, индуцированный диаграммой направленности (ДН) антенны G_k , зависящие от момента излучения импульса t_k .

В большинстве случаев достаточно проанализировать квадратичную аппроксимацию $R(t)$ в окрестности точки траверза цели $-t_{tp}$:

$$R(t) = \sqrt{R(t_{tp})^2 + (v(t - t_{tp}))^2} \approx R(t_{tp})^2 + \frac{v^2}{2R(t_{tp})} ((t - t_{tp})^2). \quad (4)$$

Т. о. огибающая пачки отражённых импульсов определяется ДН антенны и квадратичным фазовым набегом, который эквивалентен линейной частотной модуляции пачки импульсов, так как:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \varphi(t) \approx \frac{2v^2}{\lambda R(t_{tp})} (t - t_{tp}). \quad (5)$$

Вид такой пачки показан на рис. 5. Частотную модуляцию пачки отражённых импульсов можно объяснить эффектом Доплера, возникающим вследствие движения ЛА. Данная линейная частотная модуляция огибающей пачки отражённых импульсов имеет полосу частот $\Delta f = 2VL_s/\lambda R$. Максимальное квадратичное смещение отражённых импульсов по оси задержки, показанное на рис. 5, как правило, меньше разрешающей способности РСА по задержке δt и проявляется только в космических или сверхширокополосных РСА, где носит название эффекта миграции дальности. Таким образом, в РСА, в отличие от РБО, мы обрабатываем не один отражённый импульс, а пачку импульсов. Комплексная огибающая этой пачки не что иное, как дискретное представление ЛЧМ импульса. Воспользовавшись этим фактом, мы можем сжать этот сигнал вдоль оси X до величины Δ_x , воспользовавшись, например, согласованным с этим сигналом фильтром [2]:

$$\Delta_x = \frac{v}{\Delta f} = \frac{\lambda R}{2L_s} = \frac{D_x}{2}. \quad (6)$$

Т. е. азимутальное разрешение РСА не зависит от расстояния до цели, длины волны, скорости полёта и т.п., и определяется только длиной азимутального раскрыва антенны, причём, чем он меньше, тем выше разрешающая способность РСА. Чем меньше апертура реальной антенны, тем

больше L_s , тем больше отношение длины синтезированной антенны к длине волны, которое мы теперь можем сделать сколь угодно большим. Таким образом, особенность РСА, в необходимости совместной когерентной обработки пачки отражённых импульсов длиной $N = L_s/\Delta_x$.

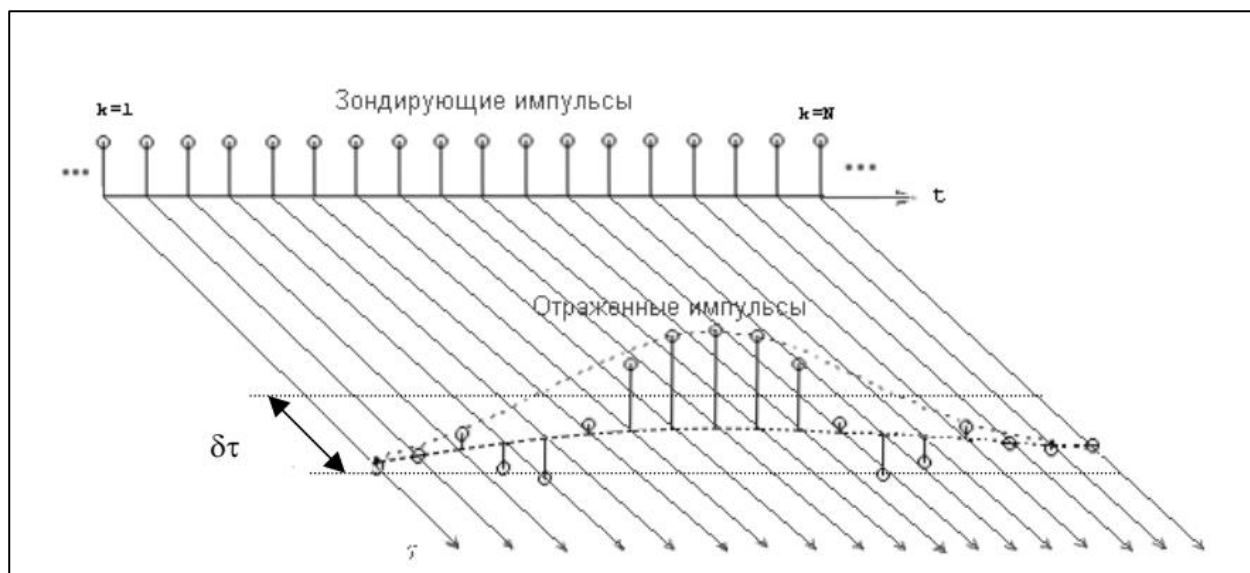


Рис. 5. Траекторный сигнал РСА

Проблема автофокусировки возникает в РСА тогда, когда линейной частотной модуляцией пачки импульсов в согласованном фильтре (устройство обработки) не совпадает с реальной модуляцией, имеющейся в принятом сигнале. Например, если в (6) мы при расчёте параметров фильтра имеем ошибку в значении скорости V , то скорость изменения частоты в фильтре и реальном сигнале оказываются различны, при этом фильтр оказывается рассогласованным, и протяжённость сигнала на выходе фильтра будет существенно выше ожидаемых значений (7), т. е. разрешение по азимуту резко ухудшится. К подобному эффекту приведёт и ошибка в расчёте $R(t_{тр})$.

Обычно в современных РСА используют сложные зондирующие сигналы (ЛЧМ, ФМС с М-последовательностями). В этом случае часто удобнее реализовать все этапы обработки сигнала, т. е. сжатие сигнала по дальности и синтез апертуры в едином устройстве обработки. Сигнал с выхода антенны усиливается линейным приёмником, затем подаётся на синхронный детектор

(квадратурный расщепитель) и далее каждый квадратурный канал на свой АЦП. Данные (радиоголограмма) с выхода АЦП направляются в устройство обработки (компьютер) или записываются в запоминающее устройство. Для авиационных РСА, в отсутствии эффектов миграции дальности, процедуры сжатия радиоголограммы по дальности и азимуту можно выполнить в видеодномерных линейных цифровых свёрток последовательно.

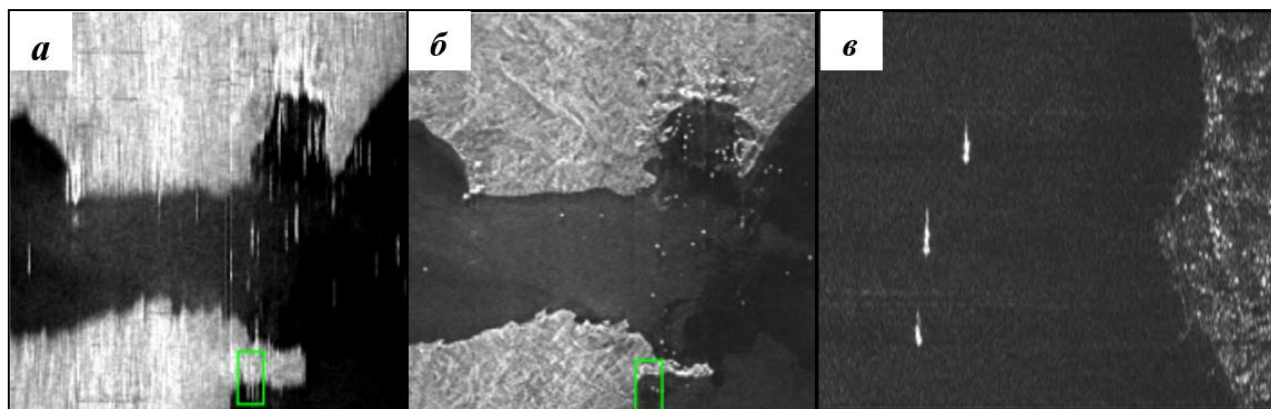


Рис. 6 . Яркостное отображение сигналов в РБО и РСА
(Гибралтарский пролив, обработка данных РСА ЭКОР-А1 КА "Алмаз-1"):
а - выход детектора в РБО (радиолокационное изображение); б - выход
нефокусированного синтеза в РСА после детектирования и некогерентного
накопления (нефокусированное РЛИ), в- результат синтеза фокусированной
апертуры и детектирования (фрагмент детального РЛИ)

В заключение данного раздела Сравнение процессов преобразования сигнала в РБО и РСА иллюстрирует рис. 6, где показаны выходные изображения в РБО и РСА. Кроме того, показаны увеличенные фрагменты РЛИ и фрагмент радиоголограммы от трех судов на морской поверхности и части суши. Размер кадра на местности примерно 40×40 км. В РБО, где разрешающая способность по азимуту около 3 км, отметки вытянуты по оси X. Длина отметки от судна (рис. 7, б) равна размеру зоны облучения χ_a , вдоль линии пути, определяющей азимутальное разрешение $\delta\chi_{РБО}$ в РБО. В РСА зона облучения вдоль линии пути определяет длительность огибающей принятого сигнала (длину радиоголограммы), а его мгновенное значение от периода к периоду

меняется по закону линейного изменения частоты (квадратичное изменение фазы).

Синтез всей радиоголограммы с длиной апертуры $L_{a \text{ макс}} = X_a$ позволяет реализовать предельное азимутальное разрешение, близкое к $D\Gamma / 2$ с получением детального РЛИ, фрагмент которого приведен на рис. 6, в. Синтез части радиоголограммы длиной L_a , например, в нефокусированном режиме, дает показанное на рис. 6, б РЛИ с пониженным разрешением, но более сглаженное за счет применения некогерентного накопления.

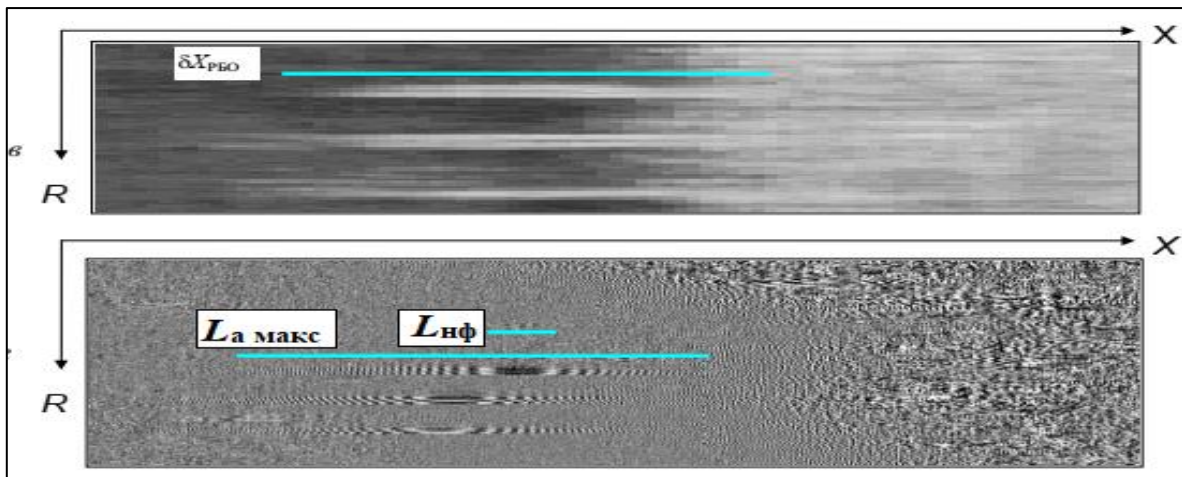


Рис. 7. Яркостное отображение сигналов в РБО и РСА

(Гибралтарский пролив, обработка данных РСА ЭКОР-А1 КА "Алмаз-1"):
а - увеличенный фрагмент рисунка "а" (три судна на морской поверхности в центре и часть берега справа), б - сигнал с выхода фазового детектора в РСА (радиоголограмма)

Оптический синтез искусственной апертуры эффективно использовался в первых РСА. Применялись также электронные методы синтеза. В настоящее время все эти методы вытеснены цифровым синтезом апертуры с использованием универсальных вычислительных машин или спецвычислителей на сигнальных процессорах. РЛИ может формироваться в темпе получения информации в процессе полета или с малой задержкой при обработке на Земле.

Список литературы

1. Технология съёмки [Электронный ресурс] // ПОЛУЧЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ОЦЕНОК ОБРАЗОВАНИЯ КРУПНЫХ АЙСБЕРГОВ И ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ

URL:https://studbooks.net/844422/tehnika/poluchenie_kolichestvennyh_otsenok_obrazovaniya_krupnyh_aysbergov_i_vzaimosvyazi_temperatury_vozduha_yuzhnogo_polushariya (Дата обращения: 28.03.2019).

2. Неронский Л.Б., Михайлов В.Ф., Брагин И.В. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны: учебное пособие / Л.Б. Неронский, В.Ф. Михайлов, И.В. Брагин. – СПб: СПбГУАП, 1999. Ч. 2. 220 с.

3. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем.-М.: Мир, 1988, 243 с.

4. Ахияров, В. В. Радиолокационные системы учебное пособие /В. В. Ахияров, С. И. Нефедов, А. И. Николаев и др. под ред. А. И. Николаева. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. 349 с.