

УДК 621.396

В.К. ВОЛОСЮК, А.В. КСЕНДЗУК, Р.П. ВОЛОЩУК

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МОНОСТАТИЧЕСКОЙ И БИСТАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ

Для моностатической и бистатической радиолокационной системы с синтезированием апертуры антенны (РСА) методом моделирования определены зависимости разрешающей способности от расположения в пространстве элементов соответствующей системы. Анализируя полученные результаты, можно выявить области пространства, где удовлетворяются требования по разрешению для заданной конфигурации РСА.

функция неопределенности, разрешающая способность, сечение функции неопределенности, моностатическая и бистатическая РСА, радиолокация, область пространства, приемник, передатчик

Введение

Развитие радиолокации в последнее время шло под знаком резкого повышения требований к основным характеристикам радиолокационных систем. Несмотря на значительный прогресс в технике, возросшие требования во многих случаях не удается удовлетворить в рамках традиционного построения систем зондирования. Одно из новых перспективных направлений – бистатические авиационные и наземно-космические РЛС с синтезированием апертуры антенны, в которых передатчик и приемник расположены на специальных авиационных и/или космических платформах.

Одна из ключевых характеристик любой радиолокационной системы – ее пространственное разрешение. Обычно информацию о пространственном разрешении получают путем анализа автокорреляционной функции обрабатываемого сигнала, называемой также обобщенной функцией неопределенности или функцией рассогласования [1].

Формулирование проблемы. Практически все задачи радиолокационного наблюдения и картографирования, как в однопозиционных, так и бистатических системах можно решать и анализировать, исследуя функции неопределенности (ФН) применяемых

сигналов с учетом особенностей пространственной конфигурации системы. ФН является универсальной характеристикой сигнала, определяющей его влияние на основные качественные показатели системы. Ширина главного максимума и уровень боковых лепестков модуля ФН сигнала характеризуют селективные свойства системы. Точность оценки параметров при заданном отношении сигнал – помеха зависит от остроты главного максимума автокорреляционной функции. Так, например, при решении задач картографирования целесообразно исследовать ФН как зависимости от расстояния и скорости движения приемной позиции относительно района картографирования. Такое представление ФН позволяет более объективно оценить разрешающую способность системы по дальности и азимуту, в зависимости от поставленных задач определить то пространственное положение передающей и приемной позиции (область пространства), где удовлетворяются требования по разрешению [2].

Целью данной работы является определение зависимости разрешающей способности от положения радиолокатора однопозиционной РСА (в случае бистатического варианта передающей и приемной позиции) в пространстве относительно земной поверхности.

Геометрия системы и ФН. Положение и движение передатчика и приемника РЛС в пространстве для бистатической системы характеризуется векторами: $\vec{r}_{tr}(x_{tr}, y_{tr}, z_{tr}, t)$, $\vec{V}_{tr}(Vx_{tr}, Vy_{tr}, Vz_{tr})$, $\vec{r}_r(x_r, y_r, z_r, t)$, $\vec{V}_r(Vx_r, Vy_r, Vz_r)$. В моностатическом случае приемник и передатчик совмещены ($\vec{r}_{tr} = \vec{r}_r$ и $\vec{V}_{tr} = \vec{V}_r$).

В качестве измеряемых параметров обычно в РЛС служит время задержки зондирующего сигнала τ и доплеровский сдвиг частоты Φ . В этом случае ФН:

$$\dot{\Psi}(\tau, \Phi) = \int_0^T \dot{s}(t) \cdot \dot{s}^*(t - \tau) \cdot \exp(j2\pi\Phi t) dt, \quad (1)$$

где T – время наблюдения (обработки) сигнала (в случае синтезирования апертуры – время синтеза).

Часто на практике интересуются свойствами ФН (разрешающей способностью или избирательностью) РЛС в некотором направлении (в направлении наблюдения – дальность, и азимутальном направлении – угловые координаты объекта) или разрешением по координатным осям $\delta x, \delta y, \delta z$.

В общем случае, при заданном зондирующем сигнале функция неопределенности является сложной функцией времени, координат, направления и скорости движения, диаграмм направленности передатчика и приемника РЛС, времени когерентного накопления сигнала и вида обзора:

$$\dot{\Psi} \left[\vec{r}_{tr}(t), \vec{r}_r(t), \vec{r}, t \right] = \int_0^T \dot{G} \left[\vec{r}_{tr}(t), \vec{r}_r(t), \vec{r}, t \right] \times \dot{s} \left[\vec{r}_{tr}(t), \vec{r}_r(t), \vec{r}, t \right] \cdot \dot{s}^* \left[\vec{r}_{tr}(t), \vec{r}_r(t), \vec{r}, t \right] dt, \quad (2)$$

где $\dot{s} \left[\vec{r}_{tr}(t), \vec{r}_r(t), \vec{r}, t \right] = \dot{S}_0 \left[\vec{r}_{tr}(t), \vec{r}_r(t), \vec{r}, t \right] \times$

$\times \exp \left\{ j\omega \left[t - t_s(\vec{r}_{tr}(t), \vec{r}_r(t), \vec{r}, t) \right] \right\}$ – обрабатываемый принятый сигнал; $\dot{S}_0[\dots]$ – комплексная опи-

бающая сигнала; $\dot{s}^*[\dots]$ – опорный сигнал оптимальной системы обработки (комплексно-сопряженный принятому сигналу); $\dot{G}[\dots]$ – функция, учитывающая влияние диаграмм направленности приемной и передающей антенн.

Очевидно, полное исследование вида функции неопределенности в зависимости от указанных параметров представляет значительные трудности. Расчетные формулы для ФН моностатической и бистатической системы уже достаточно хорошо изучены и проанализированы [1–3].

Представляется интерес в анализе ФН на основе моделирования, выявлении зависимости разрешающей способности (ширины ФН по уровню 0,5 по координатам x, y) моностатической и бистатической систем от пространственного положения и направления движения передатчика и приемника относительно земной поверхности.

Результаты исследований

Моностатическая система.

Параметры системы для моделирования: приемник $\vec{r}_r = (0, 300, 1000)$, $\vec{V}_r = (300, 0, 0)$. Зондирующий сигнал – ЛЧМ. Время синтеза 0,1 с. Точка поверхности: $\vec{r} = (15, 0, 0)$ (рис. 1).

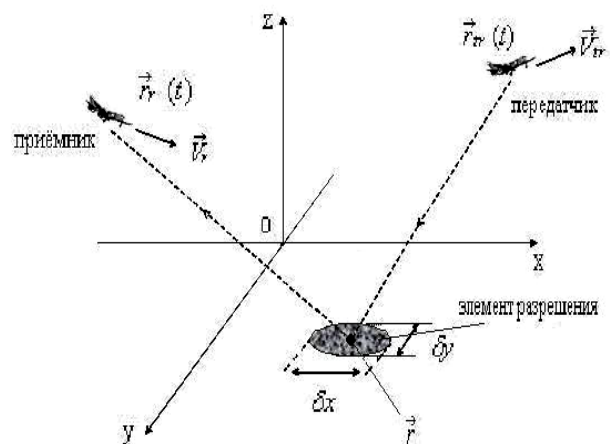


Рис. 1. Пространственное расположение РЛС (в моностатическом случае приемник и передатчик совмещены)

Полученные результаты (рис. 2 – 4) позволяют оценить влияние положения моностатической РСА в пространстве на вид функции неопределенности и определить характер изменения разрешающей

способности системы, определить те участки траектории носителя РСА, где удовлетворяются требования по разрешающей способности в направлениях x и y .

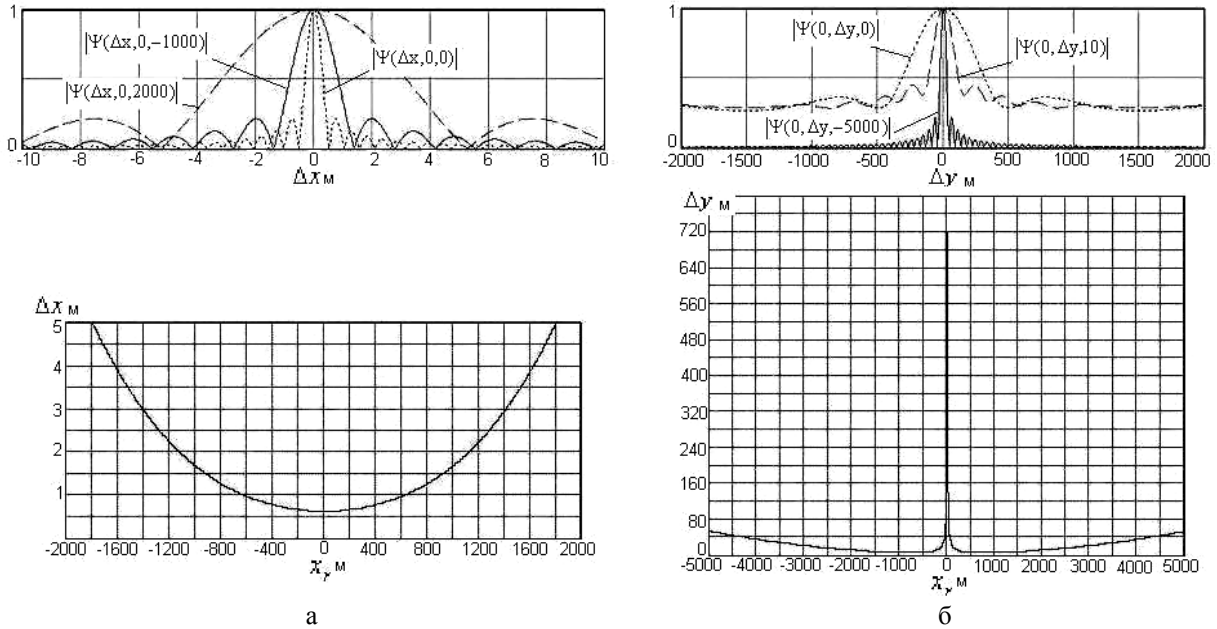


Рис. 2. Сечения нормированной ФН $|\Psi(\Delta x, \Delta y, x_r)|$ и зависимость разрешающей способности от положения РСА на оси x : а – разрешение по оси x , б – разрешение по оси y

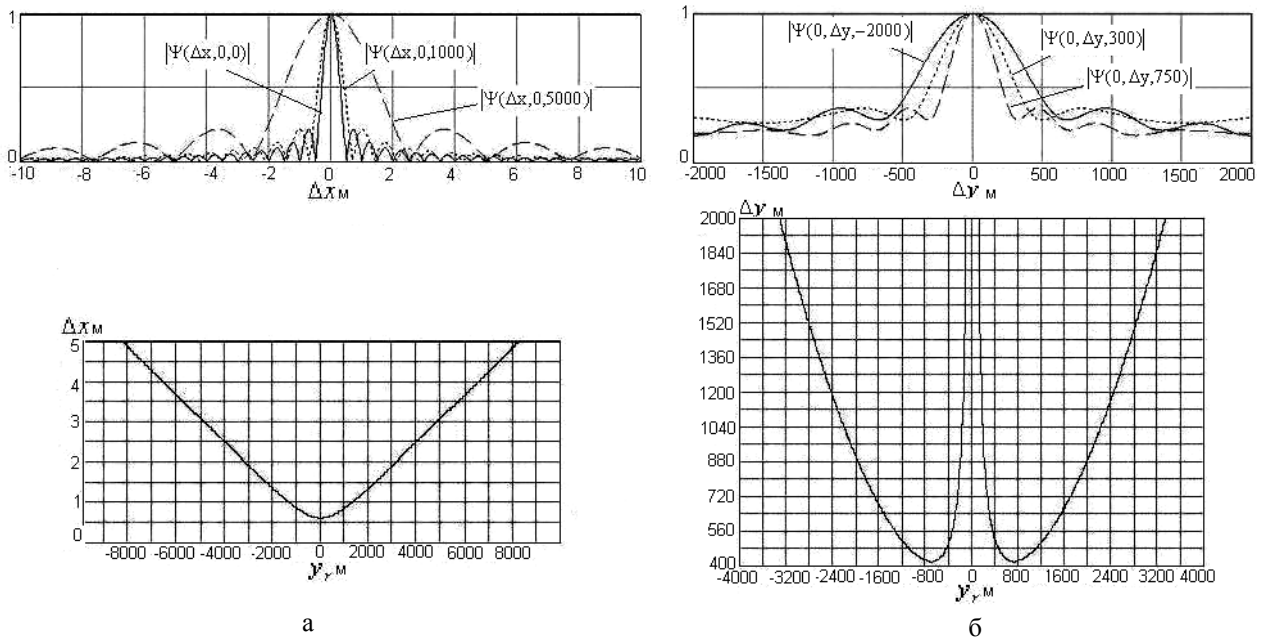


Рис. 3. Сечения нормированной ФН $|\Psi(\Delta x, \Delta y, y_r)|$ и зависимость разрешающей способности от положения РСА на оси y : а – разрешение по оси x , б – разрешение по оси y

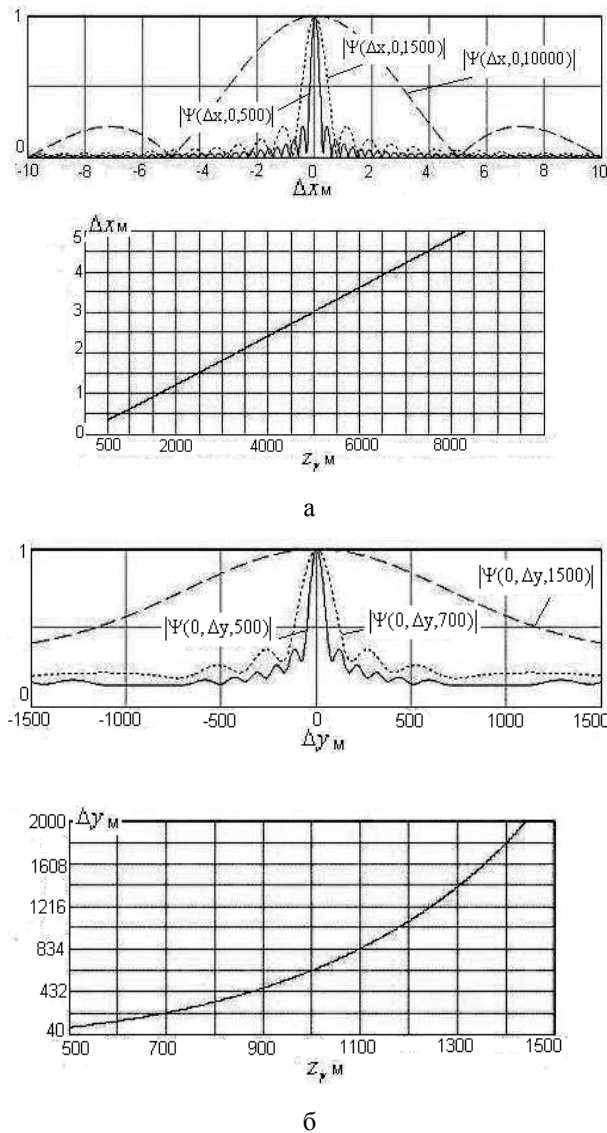


Рис. 4. Сечения нормированной ФН $|\Psi(\Delta x, \Delta y, z_r)|$ и зависимость разрешающей способности от положения РСА на оси z :
 а – разрешение по оси x ,
 б – разрешение по оси y

Предполагается, что условие однозначности измерений выполняется.

Допустим, носитель РСА перемещается в плоскости, параллельной плоскости земной поверхности XOY , основное движение носителя относительно неподвижной точки поверхности $r(x, y)$ происходит по оси x с заданной постоянной скоростью, траектория движения ограничена координатами

$$X_{rn} = (-2000, 300, 1000) \text{ и } X_{rk} = (2000, 300, 1000)$$

и зададимся предельной разрешающей способностью по направлению x ($\Delta x \leq 5$ м), по направлению y

($\Delta y \leq 40$ м). Тогда можно определить те участки траектории носителя, где удовлетворяются указанные требования:

$$X_{r1} \in (-1800, -50) \text{ и } X_{r1} \in (50, 1800).$$

Теперь расширим область возможных значений траектории носителя на всю плоскость XOY при заданной высоте полета $z_r = 1000$ м. Очевидно, что смещение РСА по оси y мало влияет на разрешение в азимутальном направлении (направление x).

Разрешение же по координате y в большей степени зависит от положения носителя на оси y . Однако из графиков можно сделать допущение, что наилучшим случаем, с точки зрения получения хорошей разрешающей способности, будет положение РСА по $y_r = \pm 700$ м.

С увеличением высоты полета разрешающая способность по обеим координатам ухудшается. Но в значительной степени влияние координаты z РСА сказывается на разрешении по y .

Бистатическая система.

Параметры бистатической системы для моделирования:

– положение в пространстве (рис. 1):

$$\vec{r}_{tr} = (0, -300, 1000), \quad \vec{r}_r = (0, 300, 1000),$$

$$\vec{V}_{tr} = (300, 0, 0), \quad \vec{V}_r = (300, 0, 0);$$

– зондирующий сигнал – ЛЧМ;

– время синтеза $0,1$ с;

– точка поверхности: $\vec{r} = (15, 0, 0)$.

По полученным результатам (рис. 5 – 7) можно сделать выводы. Для бистатической системы разрешение по координате x в меньшей степени зависит от положения передатчика в пространстве, чем разрешение по координате y , при движении платформ по параллельным курсам с одинаковыми скоростями.

Анализируя положение передатчика в плоскости XOY , наилучшее разрешение по оси y получается при положении $x_{tr} = 700$ м и $y_{tr} = 700$ м для заданного положения приемника (рис. 5, б, 6, б).

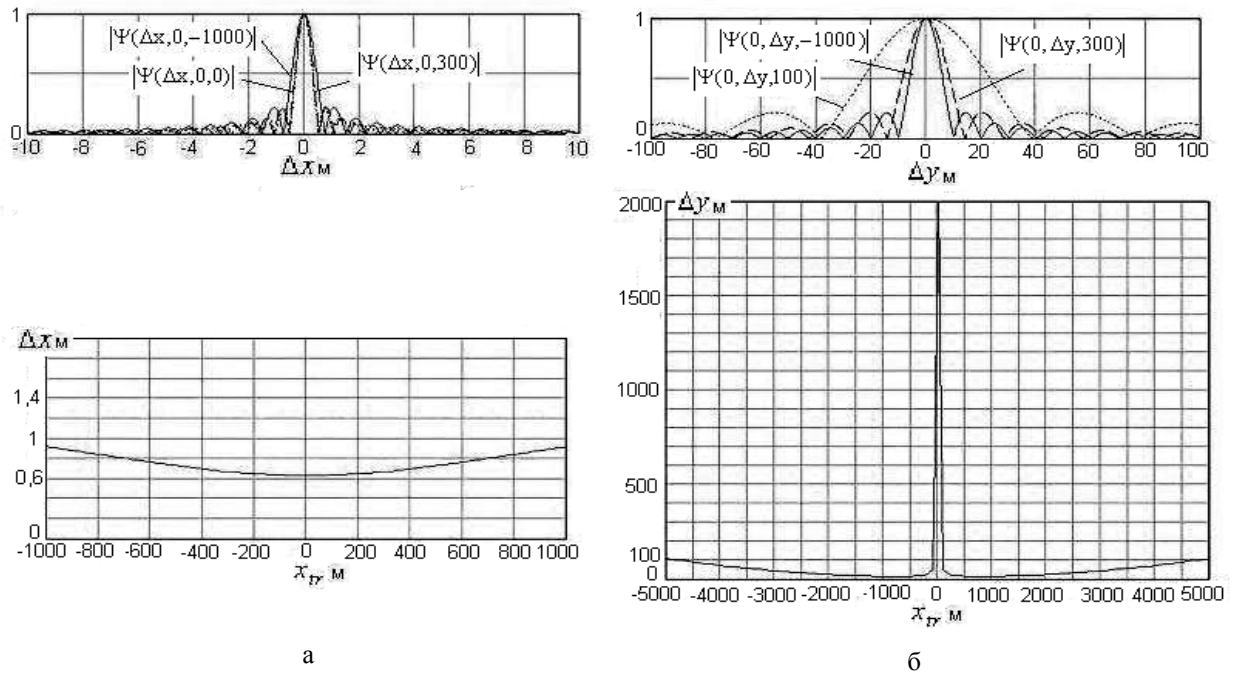


Рис. 5. Сечения нормированной ФН $|\Psi(\Delta x, \Delta y, x_{tr})|$ и зависимость разрешающей способности от координаты x_{tr} передатчика бистатической РСА: а – разрешение по оси x , б – разрешение по оси y

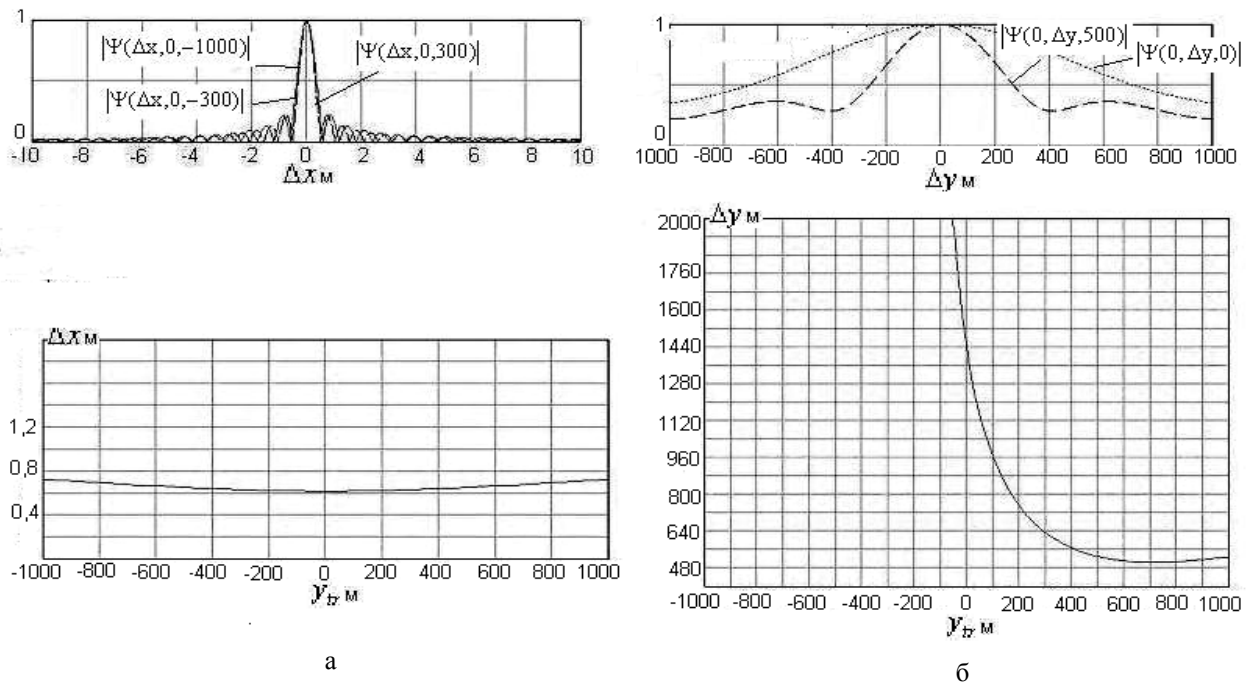


Рис. 6. Сечения нормированной ФН $|\Psi(\Delta x, \Delta y, y_{tr})|$ и зависимость разрешающей способности от координаты y_{tr} передатчика бистатической РСА: а – разрешение по оси x , б – разрешение по оси y

Зависимость разрешающей способности по координате y от высоты полета передатчика носит не

монотонный характер и для разных положений передатчика в плоскости XOY ведет себя по-разному.

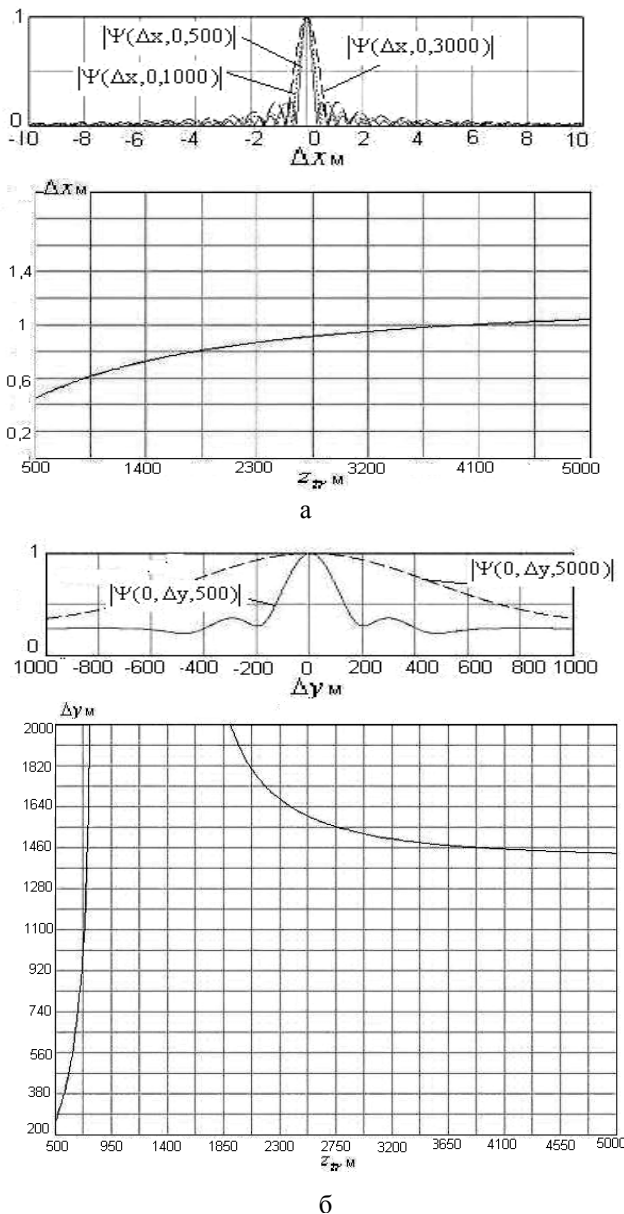


Рис. 7. Сечения нормированной ФН $|\Psi(\Delta x, \Delta y, z_{tr})|$ и зависимость разрешающей способности от координаты z_{tr} передатчика бистатической РСА: а – разрешение по оси x , б – разрешение по оси y

Для заданной конфигурации системы, например, разрешение не более 2000 м по координате y можно обеспечить при полете передатчика на высотах 500..750 м или более 1900 м. Исходя из исследований, можно сделать допущение, что приемлемым случаем будет положение передатчика в областях (-1000..-500, 600..800, 500..600 м) или (500..1000, 600..800, 500..600 м).

Заключение

Таким образом, задавшись определенными значениями разрешающей способности для заданной конфигурации моностатической или бистатической системы, можно определить те области пространства, где обеспечиваются заданные требования по разрешению; оценить характер измерения разрешающей способности от геометрии построения РСА; выявить области пространства с наилучшей разрешающей способностью при заданной постоянной скорости движения РСА и временем синтеза отраженного сигнала. Подобный анализ можно провести, исследуя направления движения и значения скоростей в соответствующих направлениях элементов моностатической или бистатической РСА.

Литература

1. Костылев В.И., Перов В.М. Обобщенная автокорреляционная функция бистатической наземно-космической РЛС с синтезированием апертуры передатчика // Вестник ВГУ. – 2004. – № 1. – С. 10-14.
2. Евсеев И.А. Основные геометрические соотношения в многопозиционных радиолокационных системах с синтезированием апертуры антенны // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 1. – С. 60-66.
3. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли: Учебное пособие для вузов / Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.

Поступила в редакцию 2.10.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Э.Н. Хомяков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.