

## Анализ помехоустойчивости РЛС с синтезированной апертурой

*Л. Г. Доросинский*

Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,  
Екатеринбург, Россия  
l.dorosinsky@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрена задача анализа влияния помех на эффективность обнаружения/распознавания сигналов в космической РЛС с синтезированной апертурой. Для бистатической РСА получены формулы для расчета отношений сигнал/помеха и коэффициента улучшения отношения сигнал/помеха при обработке сигнала в нефокусированной и фокусированной РЛС с синтезированной апертурой, а также приведены примеры расчета названных характеристик для типовой РСА. Приведены примеры построения зон подавления РЛС помехой и примеры зависимости коэффициента улучшения отношения сигнал/помеха от расстояния постановщика помехи по азимуту. Результаты могут быть использованы при расчете помехозащищенности современных и перспективных РЛС космического базирования.

**Ключевые слова.** РЛС, сигнал, помеха, коэффициент улучшения, зоны подавления.

## Analysis of Noise Immunity of Radar With Synthetic Aperture

*Leonid G. Dorosinskiy*

Ural Federal University named after the first President  
of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia  
l.dorosinsky@mail.ru

**Abstract.** The paper considers the problem of analyzing the impact of noise on the efficiency of signals recognition in a space-based synthesized aperture radar (SAR). For the bistatic SAR, formulas for the signal-to-noise ratio and for the signal-to-noise ratio improvement coefficient calculating for the unfocused and focused synthesized aperture radars signal processing are obtained, and examples of such characteristics calculating for a typical SAR system are given. Examples of the radar interference suppression zones construction and examples of the signal-to-noise ratio on the noise source azimuth distance dependence are given, as well. The results may be used for the calculation of noise immunity of modern and prospective space-based radars.

**Keywords.** Radar, signal, clutter, signal-to-noise ratio improvement coefficient, suppression zones

© Dorosinskiy L. G., 2018

### Введение

Эффективное решение задачи обнаружения и тем более распознавания объектов, расположенных на земной (водной) поверхности, средствами радиолокационного наблюдения с синтезированной апертурой [1] требует обеспечения достаточно высокого (порядка 20 дБ) [2] отношения сигнал/шум. В то же время следует иметь в виду, что при наблюдении Земли из космоса возможно действие искусственных помех, как специально организованных, так и связанных с работой различных радиотехнических средств. Последнее обстоятельство стимулирует решение задачи анализа влияния такого рода помех и разработки методики расчета помехозащищенности РСА с тем, чтобы оценить возможность эффективного решения задач классификации в реальной помеховой обстановке.

### Вывод основных соотношений

Рассмотрим процесс наблюдения точечной цели с помощью бистатической РСА при наличии в зоне действия РЛС совокупности  $N_{\text{п}}$  точечных источников шумовых помех. Геометрические соотношения, характеризующие указанную ситуацию, приведены на рис. 1. Определим отношения сигнал/помеха и сигнал/(помеха + шум) в элементе РЛИ.

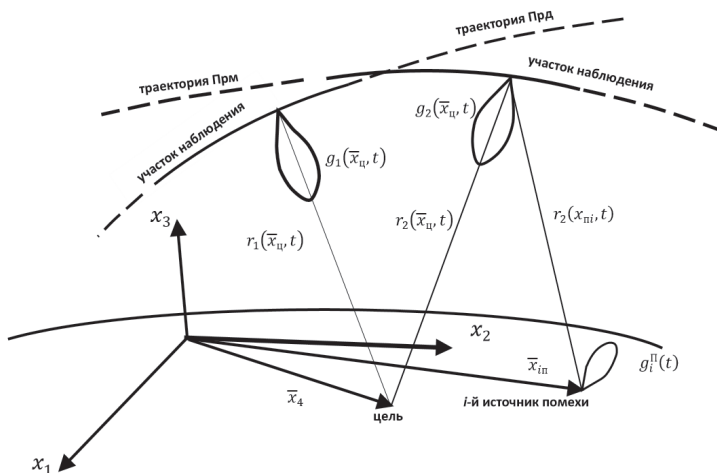


Рис. 1. Геометрические соотношения

Fig. 1. Geometrical relations

Комплексная амплитуда сигнала, принимаемого в  $n$ -м периоде повторения зондирующих импульсов, может быть представлена в виде:

$$U(n, t) = U_0 G(\bar{x}_\Pi, t_n) S_n(\bar{x}_\Pi, t) E(\bar{x}_\Pi, t_n) f_\Pi + N(t) + \sum_{i=1}^{N_\Pi} U_i G_2(\bar{x}_{\Pi i}, t_n) S_i^\Pi \left[ t - \frac{r_2(\bar{x}_{\Pi i}, t_n)}{C} \right] E_2(\bar{x}_{\Pi i}, t_n) g_i^\Pi(t_n), \quad (1)$$

где  $f_\Pi$  — значение комплексной функции отражения для наблюдаемой точечной цели,

$$0,5 f_\Pi^* f_\Pi = 1; \quad (2)$$

$$S_n(\bar{x}_\Pi, t) = S \left\{ t - nT - \left[ r_1(\bar{x}_\Pi, \int t) + r_2(\bar{x}_\Pi, t) \right] J / c \right\} \quad (3)$$

— комплексная огибающая  $n$ -го зондирующего импульса,  $\bar{x}$  — радиус-вектор, задающий положение наблюдаемой точки;  $g_i^\Pi(t_n)$  — значение нормированной диаграммы направленности излучающей системы  $i$ -го источника помех в направлении приемной антенны РЛС в  $n$ -м периоде зондирования;  $S_i^n(t)$  — комплексная амплитуда колебания, излученного  $i$ -м источником помех;

$$G_2(\bar{x}, t_n) = \frac{q_2(\bar{x}, t_n)}{r_2(\bar{x}, t_n)}; \quad (4)$$

$$E_2(\bar{x}, t_n) = \exp[-jkr_2(\bar{x}, t_n)]; \quad (5)$$

$$G(x, t) = \frac{q_1(\bar{x}, t_n) q_2(\bar{x}, t_n)}{r_1(\bar{x}, t_n) r_2(\bar{x}, t_n)}; \quad (6)$$

$$E(\bar{x}, t_n) = \exp\{-jk[r_1(\bar{x}, t_n) + r_2(\bar{x}, t_n)]\}; \quad (7)$$

$q_1(\bar{x}, t_n)$ ,  $q_2(\bar{x}, t_n)$  — значения нормированных диаграмм направленности антенн приемника и передатчика РЛС в направлении точки  $\bar{x}$  до передатчика и приемника РЛС в момент излучения  $n$ -го импульса;

$$U_i = \sqrt{\frac{G_{20} G_{i0}^n \lambda^2}{(4\pi)^2}}; \quad (8)$$

$$U_0 = \sqrt{\frac{2P_0 \lambda^2 G_{10} G_{20}}{(4\pi)^3} \sigma_\Pi^2}; \quad (9)$$

$G_{i0}^{\Pi}$  — коэффициент усиления излучающей системы  $i$ -го источника помех;  $G_{10}, G_{20}$  — коэффициенты усиления передающей и приемной антенн РЛС;  $P_0$  — импульсная мощность зондирующего сигнала;  $\sigma_{\Pi}^2$  — ЭПР цели. В дальнейшем для сокращения записей вместо  $t_n$  используется обозначение  $n$ .

При формировании РЛИ принимаемый сигнал проходит через фильтр, согласованный с одиночным зондирующим импульсом. На выходе фильтра в  $j$ -м канале дальности и  $n$ -м периоде повторения получаем отсчет, величина которого определяется выражением:

$$U_j(n) = \int U(n, t) S_{\Pi}(\bar{x}_{Oj}, t) dt, \quad (10)$$

где  $\bar{x}_{Oj}$  — радиус-вектор, задающий положение  $j$ -го канала дальности в пространстве.

При формировании РЛИ методом весового суммирования для  $k$ -го азимутального отсчета в  $j$ -м канале дальности получаем выражение:

$$F_j(k) = \sum_{n=-M}^M U_j(k+n) H_j(n), \quad (11)$$

где  $H_j(n)$  — комплексная весовая функция обработки для  $j$ -го канала дальности,  $2M+1$  — число когерентно суммируемых импульсов.

После подстановки (10) в (11) с учетом (1) запишем выражения для сигнальной  $F_{jc}$ , помеховой  $F_{jn}$  и шумовой  $F_{ju}$  составляющих  $k$ -го отсчета РЛИ в  $j$ -м канале:

$$F_{jc}(k) = U_0 f_{\Pi} \Psi^D(\bar{x}_{Oj}, \bar{x}_{\Pi}) \sum_{n=-M}^M G[\bar{x}_{\Pi}, (n+k)] E[\bar{x}_{\Pi}, (n+k)] H_j(n), \quad (12)$$

$$F_{jn}(k) = \sum_{i=1}^{N_{\Pi}} U_i \sum_{n=-M}^M G_2[\bar{x}_{\Pi i}, (n+k)] E_2[\bar{x}_{\Pi i}, (n+k)] g_i^n(n+k) H_j(n) \times \\ \times \int S_{n+k}^*(\bar{x}_{Oj}, t) S_i^{\Pi} \{e^{-r_2[\bar{x}_{\Pi i}, (n+k)]/c}\} dt, \quad (13)$$

$$F_{ju}(k) = \sum_{n=-M}^M H_j(n) \int S_{n+k}^*(\bar{x}_{Oj}, t) N(t) dt, \quad (14)$$

где  $\Psi^D(\bar{x}_{Oj}, \bar{x}_{\Pi})$  — функция неопределенности одиночного зондирующего импульса.

Определим дисперсии полученных величин (12)–(14).

$$\sigma_{jc}^2(k) = U_0^2 \left| \Psi^D(\bar{x}_{Oj}, \bar{x}_{\Pi}) \right|^2 \left| \sum_{n=-M}^M G[\bar{x}_{\Pi}, (n+k)] E[\bar{x}_{\Pi}, (n+k)] H_j(n) \right|^2, \quad (15)$$

$$\sigma_{jn}^2(k) = \sum_{i=1}^{N_{\Pi}} U \sum_{n=-M}^M \sum_{m=-M}^M G_2[\bar{x}_{\Pi i}, (n+k)] E_2[\bar{x}_{\Pi i}, (n+k)] g_i^n(n+k) H_j(n) p_{ij}^{\Phi}[(n+k), (m+k)] G_2[\bar{x}_{\Pi i}, (m+k)] E_2^*[\bar{x}_{\Pi i}, (m+k)] g_i^n(m+k) H_j^*(m), \quad (16)$$

где

$$p_{ij}^{\Phi}(n, m) = \iint p_i \left\{ [t - r_2(\bar{x}_{ni}, n) / c], [u - r_2(\bar{x}_{ni}, m) / c] \right\} S_{\Pi}^*(\bar{x}_{O_i}, t) S_m(\bar{x}_{O_i}, u) dt du \quad (17)$$

— коэффициент корреляции  $n$ -го и  $m$ -го отсчетов помехи, излученной  $i$ -м источником, на выходе фильтра в  $j$ -м канале дальности;

$$p_i(t, u) = 0,5 S_i^{\Pi}(t) S_i^{\Pi}(u) \quad (18)$$

— корреляционная функция колебаний  $i$ -го источника помех.

Для широкополосных помех, имеющих спектральную плотность  $N_i$ , справедливы выражения:

$$p_i(t, u) = N_i \delta(t - u),$$

$$p_{ij}^{\Phi}(n, m) = \delta_{nm} \Psi^D(\bar{x}_{O_j}, \bar{x}_{O_j}) N_i, \quad (19)$$

где  $\delta_{nm}$  — символ Кронеккера. При этих условиях выражение (16) принимает следующий вид:

$$\sigma_{j\Pi}^2(k) = \sum_{i=1}^{N_{\Pi}} N_i \Psi^D(\bar{x}_{O_j}, \bar{x}_{O_j}) U_i^2 \sum_{n=-M}^M \left\{ G_2[\bar{x}_{\Pi i}, (n+k)] g_i^{\Pi}(n+k) |H_j(n)| \right\}^2, \quad (20)$$

Полагая шум «белым» со спектральной плотностью  $N_O$ , для дисперсии шумовой составляющей получим:

$$\sigma_{j\text{ш}}^2(k) = N_O \Psi^D(\bar{x}_{O_j}, \bar{x}_{O_j}) \sum_{n=-M}^M |H_j(n)|^2. \quad (21)$$

Искомые отношения сигнал/помеха ( $q_{\text{сн}}$ ) и сигнал/(помеха + шум) ( $q_{\text{сш}}$ ) в  $j$ -м канале дальности определяются следующим образом:

$$q_{\text{сн}}(j, k) = \sigma_{j\text{с}}^2(k) / \sigma_{j\Pi}^2(k), \quad (22)$$

$$q_{\text{сш}}(j, k) = \sigma_{j\text{с}}^2(k) / [\sigma_{j\Pi}^2(k) + \sigma_{j\text{ш}}^2(k)] = [1/q_{\text{сн}}(j, k) + 1/q_{\text{сш}}(j, k)]^{-1}, \quad (23)$$

$$\text{где} \quad q_{\text{сш}}(j, k) = \sigma_{j\text{с}}^2(k) / \sigma_{j\text{ш}}^2(k) \quad (24)$$

— отношение сигнал/шум на выходе РСА.

Зависимость отношений  $q_{\text{сн}}$ ,  $q_{\text{сшп}}$  и  $q_{\text{сш}}$  от  $j$  и  $k$  характеризует их изменение при переходе от одного элемента РЛИ к другому.

Для определения коэффициента улучшения и зон подавления рассмотрим следующие соотношения:

$$q_{oi}(k) = \frac{U_o^2 \Psi^D(\bar{x}_{oj}, \bar{x}_{oj})}{U_i^2 N_i r_i^2(x_{\text{ц}}, k)}, \quad (25)$$

$$q_{ош}(k) = \frac{U_o^2 \Psi^D(\bar{x}_{oj}, \bar{x}_{oj})}{N_o r_1^2(x_{\text{ц}}, k) r_2^2(x_{\text{ц}}, k)}. \quad (26)$$

Для функции неопределенности одиночного импульса длительностью  $\tau_{\text{и}}$  справедливо равенство

$$\Psi^D(\bar{x}, \bar{x}) = \tau_{\text{и}}. \quad (27)$$

Выражение (25) с учетом (8) и (9) представляет собой отношение энергии сигнала к спектральной плотности  $i$ -й помехи на входе приемника РЛС в  $k$ -м периоде зондирующих импульсов для случая, когда  $i$ -й источник помех находится в той же точке пространства, что и цель.

Используя введенные обозначения (25) и (26), для широкополосных помех формулы (22) и (24) можно представить в следующем виде:

$$q_{\text{сн}}(j, k) = \left[ \sum_{i=1}^{N_{\text{п}}} \frac{1}{q_{oi}(k) K_{yi}(j, k)} \right]^{-1}, \quad (28)$$

$$q_{\text{сш}}(j, k) = q_{\text{ош}}(k) K_{\text{ш}}(j, k), \quad (29)$$

где

$$K_{yi}(j, k) = \frac{r_1^2(\bar{x}_{\text{ц}}, k) \left| \sum_{n=-M}^M G[\bar{x}_{\text{ц}}, (n+k)] E[\bar{x}_{\text{ц}}, (n+k)] H_j(n) \right|^2}{\sum_{n=-M}^M \left\{ G[\bar{x}_{\text{п}i}, (n+k)] g_i^{\text{п}}(n+k) \right\} |H_j(n)|^2}, \quad (30)$$

$$K_{\text{ш}}(j, k) = \frac{r_1^2(\bar{x}_{\text{ц}}, k) r_2^2(\bar{x}_{\text{ц}}, k) \left| \sum_{n=-M}^M G[\bar{x}_{\text{ц}}, (n+k)] E[\bar{x}_{\text{ц}}, (n+k)] H_j(n) \right|^2}{\sum_{n=-M}^M |H_j(n)|^2}. \quad (31)$$

Как следует из (29), коэффициент  $K_{\text{ш}}$  имеет смысл коэффициента улучшения отношения сигнал/шум за счет когерентного накопления в устройстве синтезирования. Для выяснения смысла коэффициента  $K_{yi}$  рассмотрим случай воздействия на РСА одиночного источника помех. При этом имеем:

$$q_{\text{сн}}(j, k) = q_{oi}(k) K_{yi}(j, k). \quad (32)$$

Это выражение позволяет трактовать введенный безразмерный коэффициент как коэффициент улучшения отношения сигнал/(одиночная точечная помеха) за счет синтезирования апертуры. Для РСА с заданными характеристиками  $K_{yi}$  зависит только от взаимного расположения цели, источника помех и участка синтезирования. Независимость введенного коэффициента от энергетических параметров РЛС и источника помех делает его удобной характеристикой для сравнения различных вариантов построения РСА по их помехозащищенности.

При воздействии на РСА узкополосных помех коэффициент улучшения отношения сигнал/помеха может быть записан следующим образом:

$$K_{yi}(j, k) = r_i^2(\bar{x}_{\Pi}, k) \left| \sum_{n=-M}^M G[\bar{x}_{\Pi}, (n+k)] E[\bar{x}_{\Pi}, (n+k)] H_j(n) \right|^2 \times \\ \times \left\{ \sum_{n=-M}^M \sum_{m=-M}^M G_2[\bar{x}_{\Pi}, (n+k)] E_2[\bar{x}_{\Pi}, (n+k)] g_i^n(n+k) H_j(n)^* \times \right. \\ \left. \times p_{ij}^{\Phi H}[(n+k), (m+k)] G_2[\bar{x}_{\Pi}, (m+k)] E^*[\bar{x}_{\Pi}, (m+k)] g_i^n(m+k) H_j(m) \right\}^{-1}, \quad (33)$$

где  $p_{ij}^{\Phi H}(n, m)$  — нормированный к максимальному значению коэффициент корреляции  $n$ -го и  $m$ -го отсчетов  $i$ -й помехи на выходе фильтра в  $j$ -м канале дальности.

Для наглядного представления о работоспособности РСА в условиях помех могут быть использованы так называемые зоны подавления, которые представляют собой области поверхности, отвечающие следующему условию: при расположении источника помехи в пределах названной зоны отношение сигнал/помеха не превышает заданного уровня.

Полученные результаты — выражения для расчета помехозащищенности — позволяют проводить анализ эффективности конкретных вариантов построения РСА.

### Расчет зон подавления и коэффициентов улучшения

Рассмотрим типовой случай использования. Приемная и передающая РЛС расположены на одном носителе, причем диаграммы направленности (ДН) антенн ориентированы по нормали к траектории носителя (азимутальный скос ДН отсутствует). Все приведенные ниже результаты анализа помехозащищенности получены применительно к РЛС типа SEASAT-A, основные параметры которой имеют следующие значения:

- высота полета носителя РЛС 800 км;
- скорость носителя 7500 м/с;
- период повторения зондирующих импульсов  $0,6 \cdot 10^{-3}$  с;

- длина волны излучения 23,5 см;
- горизонтальный раскрыв антенны 11 м;
- угол наклона луча антенны к вертикали 20°;
- импульсная мощность передатчика 800 Вт;
- полоса частот приемного тракта 6 МГц;
- коэффициент сжатия 642.

При фокусированной обработке когерентно суммируются 1025 отсчетов сигнала в каждом канале дальности, что соответствует участку синтезирования длиной 4612,5 м и времени накопления 0,615 с. Разрешение по азимуту в этом случае составляет около 22 м. Для нефокусированной РСА участок синтезирования определяется следующим образом:

$$L_{\text{эфф}} = \sqrt{\sqrt{(H^2 + R^2)}\lambda}, \quad (34)$$

где  $H$  — высота полета носителя,  $R_0$  — горизонтальная дальность до точки наблюдения,  $\lambda$  — длина волны.

При выбранных параметрах  $L_{\text{эфф}} = 447,3$  м, что соответствует накоплению 101 отсчета и разрешению 224 м.

Сравнение помехоустойчивости фокусированных и нефокусированных РСА производилось на основе зависимости коэффициента улучшения  $K_y$  от координат точечного источника помехи относительно точки нахождения цели. На рис. 2 представлены зоны подавления РСА, соответствующие зависимости коэффициента улучшения от положения источника помех. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

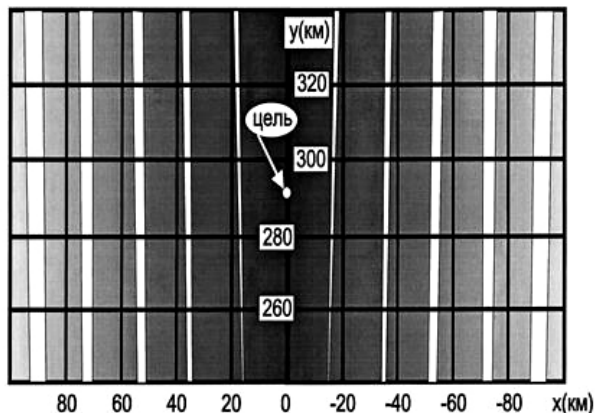


Рис. 2. Пример построения зоны подавления РСА одиночным источником помех (заштрихованы области, где  $K_y < 50$  дБ)

Fig. 2. An example of the suppression zone design with a single noise source (the areas with  $K_y < 50$  dB are shaded)



1. Зависимость коэффициента улучшения отношения сигнал/помеха от азимутального положения источника помех носит сложный лепестковый характер. Вид названной зависимости в основном определяется формой диаграммы направленности антенны РЛС в азимутальной плоскости и характером движения РЛС.

2. При увеличении количества суммируемых отсчетов в зависимости коэффициента улучшения от азимута постановщика помех провалы характеристик уменьшаются, а пики сглаживаются.

3. Использование фокусированных РСА, как и следовало ожидать, обеспечивает дополнительный выигрыш в помехозащищенности по сравнению с нефокусированной РСА. В рассмотренных примерах помехозащищенность фокусированных РСА примерно на порядок выше.

4. Для эффективного обнаружения сигнала со случайными амплитудами и фазами (вероятность правильного обнаружения порядка 0,9 при вероятности ложной тревоги  $10^{-6}$ ) следует обеспечить отношение сигнал/помеха порядка 20 дБ. Диапазон изменения отношения сигнал/помеха при действии типовых источников при значении ЭПР, составляющем 104–105 м<sup>2</sup>, отношение сигнал/помеха на выходе линейной части приемника изменяется от –25 до –72 дБ (в зависимости от типа постановщика). Следовательно, для обнаружения цели необходимо обеспечить коэффициент улучшения от 45 до 95 дБ.

Из рис. 3 и 4 видно, что нижняя граница для РЛС с ДН вида  $\frac{\cos x}{1 - \left(\frac{2}{\pi}x\right)^2}$

при нефокусированной РСА достигается при удалении источника помехи от цели не менее 39 км по азимуту. В фокусированной РСА эта граница составляет не менее 22 км. Достижение верхней границы возможно при удалении постановщика помехи на расстояние не менее 100 км. Таким образом, для обеспечения эффективного функционирования при действии организованных помех необходимо использовать специальные методы защиты от помех (пространственная селекция с помощью ФАР, применение адаптивных компенсаторов и т. п.).

Рассмотрим воздействие на РСА группы помех, включающих два постановщика. На рис. 5 и 6 приведены зависимости нормированного отношения сигнал/помеха на выходе нефокусированной РСА для одиночного источника помехи и группы из двух одинаковых источников. Графики нормированы к отношению сигнал/помеха на входе РСА для случая, когда цель и центр источника помехи расположены в одной точке пространства.

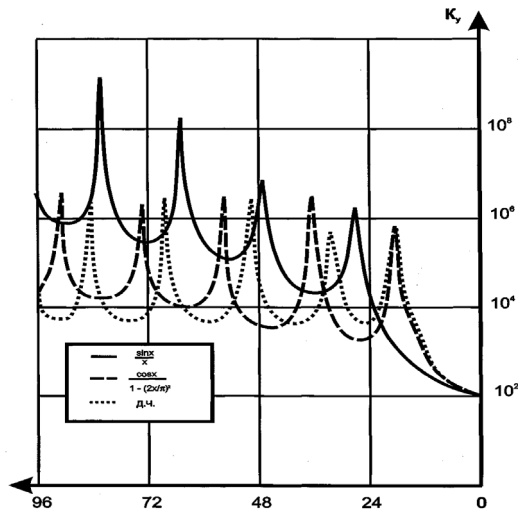


Рис. 3. Зависимость коэффициента улучшения от азимутальной координаты источника помехи для нефокусированной РСА при различных аппроксимациях ДН антенны РЛС

Fig. 3. The dependence of the improvement ratio on the azimuthal coordinate of the noise source for unfocused SAR and for various approximations of the radar antenna pattern

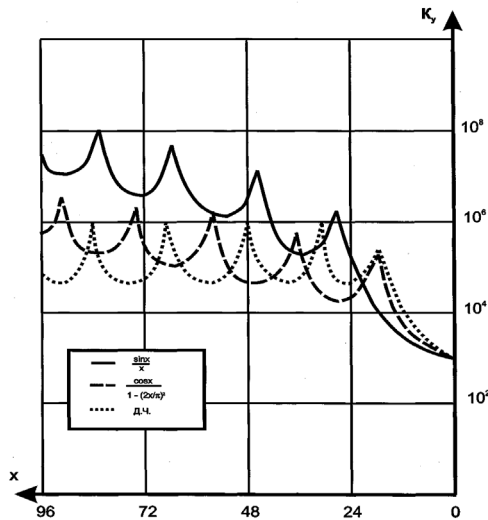


Рис. 4. Зависимость коэффициента улучшения от азимутальной координаты источника помехи для фокусированной РСА при различных аппроксимациях ДН антенны РЛС

Fig. 4. The dependence of the improvement ratio on the azimuthal coordinate of the noise source for focused SAR and for various approximations of the radar antenna pattern

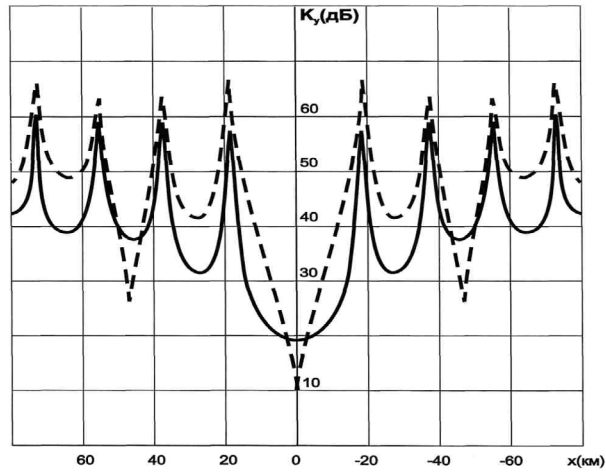


Рис. 5. Зависимость коэффициента улучшения от азимута  
 (— некоррелированная помеха, - - - коррелированная помеха)  
 Fig. 5. The dependence of the improvement ratio on the azimuthal coordinate  
 (— uncorrelated noise, - - - correlated noise)

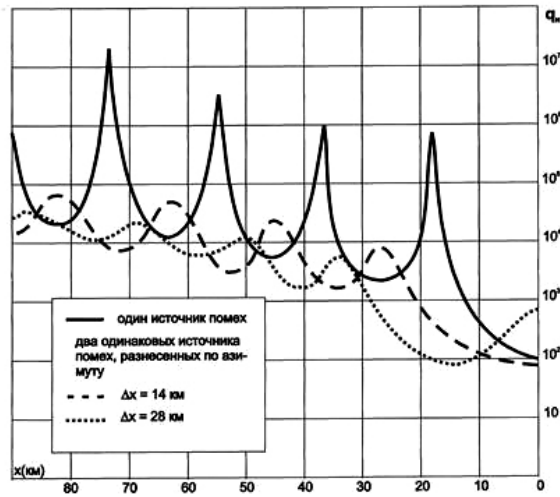


Рис. 6. Зависимость нормированного отношения сигнал/помеха на выходе  
 нефокусированной РСА от азимутального разнеса  
 между целью и источником помех

Fig. 6. The dependence of the normalized signal-to-noise ratio at the unfocused  
 SAR output on the azimuthal spacing of the target and the noise source

При этом зависимость для одного источника помехи совпадает с графиком коэффициента улучшения, а для группового источника получаем:

$$q_H = \left[ \sum_j \frac{1}{K_{ji}} \right]^{-1} \quad (35)$$

Вдоль оси абсцисс на графиках отложена азимутальная координата центра группы постановщиков помех. Параметр  $\Delta\chi$  на всех графиках представляет собой расстояние между источниками помех. В силу симметрии рисунков от абсциссы графика приведены зависимости только для отрицательных значений азимута. ДН антенны аппроксимирована зависимостью вида  $\frac{\sin x}{x}$ . Анализ полученных результатов

позволяет сделать следующие выводы.

### Заключение

1. Воздействие источников помех, разнесенных по азимуту на расстояние, не превышающее половины ширины главного лепестка, выраженной в линейных единицах на «высвечиваемой» поверхности, приводит к:

- ухудшению отношения сигнал/помеха на выходе РСА по сравнению со случаем использования одиночного источника;
- сглаживанию пиков зависимости отношения сигнал/помеха от азимутальной координаты источника;
- сдвигу экстремумов зависимости в направлении возрастания абсолютного значения азимута.

2. В случае воздействия источников помех, разнесенных по азимуту более чем на половину ширины ДН РЛС, в зависимости от отношения сигнал/помеха на выходе РСА наблюдаются два равных, явно выраженных минимума, которые раздвигаются с ростом расстояния между источниками помех в группе.

### Литература/References

1. Верба В. С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития // Радиотехника. 2008. 432 с.

Verba V. S. *Aviacionnye komplekсы radiolokacionnogo dozora i navedenija. Sostojanie i tendencii razvitija* [Aircraft radar patrol and guidance. Status and development trends]. Radiotekhnika, 2008. 432 p. (In Russian)

2. Dorosinskiy L. G., Kurgaysky A. A. Signal Detection in SAR Against the clutter reflections Background. *7th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization*. Sharjah, 2017.1.

### **Информация об авторе**

Доросинский Леонид Григорьевич — профессор Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (ул. Мира, 32, Екатеринбург, Россия).

### **Information about the author**

Leonid G. Dorosinskiy is a Professor of the Department of Radioelectronics and Communications of Engineering School of Information Technologies, Telecommunications and Control Systems of Ural Federal University the first President of Russia B. N. Yeltsin (Mira street 32, Ekaterinburg, Russian Federation).

Поступила / Receiver: 17.06.2018

Принята в печать / Accepted: 14.07.2018