

DOI 10.30898/1684-1719.2020.6.7

УДК 621.396

## СПОСОБ КОРРЕКТИРОВКИ ДИАГРАММ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБЪЕКТА ПРИ ИСКЛЮЧЕНИИ ИЛИ СНИЖЕНИИ УРОВНЯ ОТРАЖЕНИЙ ОТ ЭЛЕМЕНТОВ ЕГО КОНСТРУКЦИИ

С. И. Моряков, С. М. Нестеров, П. Н. Скоков, И. А. Скородумов  
Центральный научно-исследовательский институт ВКС МО России, 141091, Москва

Статья поступила в редакцию 29 мая 2020 г.

**Аннотация.** Предложен способ корректировки диаграмм обратного рассеяния радиолокационного объекта при исключении или снижении уровня отражений от локальных источников рассеяния, выявляемых на двумерных инверсно-синтезируемых радиолокационных изображениях объекта. Способ может использоваться при разработке предложений по противорадиолокационной маскировке объекта, а также для снижения погрешности экспериментальных оценок его радиолокационных характеристик за счёт выявления и компенсации не устранённых источников фоновых отражений от системы подвеса, подставок, маскировочного чехла и т.п.

**Ключевые слова:** инверсное синтезирование апертуры, радиолокационные изображения, диаграммы обратного рассеяния, эффективная площадь рассеяния.

**Abstract.** A method is proposed for adjusting the backscatter patterns of a radar object with the exclusion or reduction of reflection level from local scattering sources highlighted in two-dimensional inverse synthetic aperture radar images. Method can be used in the development of proposals for anti-radar object masking, as well as to reduce errors of radar characteristics experimental estimates by identifying and compensating unresolved sources of background reflections from the suspension system, supports, cover system and etc.

**Key words:** inverse synthetic aperture, radar images, backscatter patterns, radar cross section.

При разработке предложений по противорадиолокационной маскировке объекта наиболее трудоёмкими являются этапы выявления доминирующих локальных источников рассеяния и последующей оценки изменений значений эффективной площади рассеяния (ЭПР) объекта с учётом реализации предложений по снижению уровня отражений этих источников. Исходными данными при этом являются угловые диаграммы обратного рассеяния (ДОР) объекта, получаемые в безэховых камерах или на измерительных полигонах открытого типа с использованием способа экранировки, в основу которого положен принцип локальности отражения радиоволн от отдельных элементов объекта как независимых отражателей.

Способ включает следующие операции:

определение экспертным методом наиболее отражающих элементов конструкции объекта. Для летательного аппарата, например, такими являются элементы силовой установки, антенны, управляющие поверхности, фонарь кабины, фюзеляж с неоднородностями;

проведение измерений радиолокационных характеристик объекта с последовательной экранировкой элементов его конструкции и оценкой их вкладов в отраженный от объекта сигнал на основе сравнения ЭПР объекта с экранировкой и без неё;

выбор из известного набора мероприятий по снижению уровня отражений от элементов конструкции (изменения формы и конструкции, нанесение радиопоглощающих материалов и покрытий и т.д.) возможных к реализации на объекте для достижения требуемых значений его ЭПР;

оценка ЭПР объекта с учётом разработанных предложений.

Существенным недостатком изложенного способа является необходимость проведения большого количества измерений и трудоёмких работ по экранировке элементов конструкции, а также реализации на них разработанных предложений, которые на этапе измерений не всегда осуществимы. Кроме того, учитывая погрешность измерений, способ экранировки с приемлемой для практики точностью (3 дБ) позволяет оценивать

ЭПР элементов конструкции объекта, вклад которых в суммарный уровень отражений составляет не менее 40% на уровне сотых долей м<sup>2</sup> и 30% – на уровне десятых долей м<sup>2</sup>.

Указанных недостатков лишён предложенный в [1] способ экспериментального определения вкладов отражений от элементов конструкции объекта по его двумерным радиолокационным изображениям (РЛИ), получаемым за счет инверсного синтезирования апертуры [2]. Этот способ позволяет за одно измерение выявить на объекте основные источники рассеяния и оценить их вклады в отражённый объектом сигнал. Однако за рамками способа осталась оценка значений ЭПР объекта при исключении или снижении уровня отражений от выявленных вкладчиков.

Цель работы: обеспечение возможности оценки ЭПР объекта при исключении или снижении уровня отражений от элементов его конструкции.

Современные измерительные установки и технология инверсного синтезирования двумерных РЛИ объектов обеспечивают формирование наглядных изображений с высоким разрешением, что позволяет использовать математические методы для исключения или существенного снижения интенсивности отражений от доминирующих вкладчиков на изображениях. Однако учёт вносимых в РЛИ изменений применительно к угловым ДОР объекта является проблемой. Это объясняется используемым при синтезировании изображений приёмом свёртки отражённого сигнала в декартовы координаты, когда сигнал, зарегистрированный в полярных координатах «частота-угол», перед выполнением преобразования Фурье оцифровывается в прямоугольных координатах «пространственных частот», билинейно связанных с декартовыми.

Оператор формирования двумерного РЛИ объекта с использованием «пространственных частот» имеет вид [3, с.210]

$$S(x, z) = \frac{1}{\Delta f_z \Delta f_x} \int_{\min f_z}^{\max f_z} \int_{\min f_x}^{\max f_x} s(f_x, f_z) e^{j2\pi(f_z z + f_x x)} df_x df_z. \quad (1)$$

где

$S(x, z)$  – отклик точки на плоскости локации в декартовых координатах, отсчитываемых относительно оси вращения,

$z$  – координата дальности,  $x$  – поперечная координата,

$$s(f_x, f_z) = \begin{cases} s(f, \psi), \text{ если } [f_{\min} \leq f \leq f_{\max} \wedge |\psi| \leq \Delta\psi] \\ 0, \text{ если } [f < f_{\min} \vee f > f_{\max} \vee |\psi| > \Delta\psi] \end{cases},$$

$f$  – частота зондирования в полосе перестройки от  $f_{\min}$  до  $f_{\max}$ ,

$\psi$  – угол локации, изменяющийся в секторе  $\pm \Delta\psi$ ,

$$f_z = \frac{2f}{c} \cos \psi \text{ и } f_x = \frac{2f}{c} \sin \psi - \text{«пространственные частоты»},$$

$c$  – скорость света,

$S(f, \psi)$  – зарегистрированный отражённый сигнал,

$S(f_x, f_z)$  – сигнал, переписанный в координатах «пространственных частот»,

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{f_z^2 + f_x^2}, \psi = \arctg \frac{f_x}{f_z}, \Delta f_z = \mathbf{max} f_z - \mathbf{min} f_z, \Delta f_x = \mathbf{max} f_x - \mathbf{min} f_x.$$

Для записи (1) в дискретной форме необходимо задать вид зондирующего сигнала.

	1	...	$n$	...	$N$
1					
...			$s(n, m)$		
$m$					
...					
$M$					

Рис. 1. Схема массива регистрируемых данных.

Тогда дискретная форма оператора (1) имеет вид

$$S(n_2, m_2) = \frac{1}{N_1} \frac{1}{M_1} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{m_1=0}^{M_1-1} s(n_1, m_1) e^{j 2\pi \left( \frac{n_1}{N_1} n_2 + \frac{m_1}{M_1} m_2 \right)},$$

где

$$n_2 = 0, \dots, N_1 - 1, \quad m_2 = 0, \dots, M_1 - 1,$$

$$s(n_1, m_1) = \begin{cases} s(f_{n_1 m_1}, \psi_{n_1 m_1}), & \text{если } [f_{\min} \leq f_{n_1 m_1} \leq f_{\max} \wedge |\psi_{n_1 m_1}| \leq \Delta\psi] \\ 0, & \text{если } [f_{n_1 m_1} < f_{\min} \vee f_{n_1 m_1} > f_{\max} \vee |\psi_{n_1 m_1}| > \Delta\psi] \end{cases}, \quad (2)$$

$s(f_{n_1 m_1}, \psi_{n_1 m_1})$  – значение сигнала, интерполированное по ближайшим значениям из массива  $s(n, m)$ ,

$$f_{n_1 m_1} = \frac{c}{2} \sqrt{f_{z_{n_1}}^2 + f_{x_{m_1}}^2}, \quad \psi_{n_1 m_1} = \arctg \frac{f_{x_{m_1}}}{f_{z_{n_1}}},$$

$$f_{z_{n_1+1}} = f_{z_{n_1}} + \frac{1}{L_z}, \quad f_{z_1} = \mathbf{min} f_z, \quad N_1 = L_z \Delta f_z, \quad f_{x_{m_1+1}} = f_{x_{m_1}} + \frac{1}{L_x}, \quad f_{x_1} = \mathbf{min} f_x,$$

$$M_1 = L_x \Delta f_x,$$

$L_z, L_x$  – размеры области определения (кадра) РЛИ,

$\mathbf{min} f_x, \mathbf{max} f_x, \mathbf{min} f_z, \mathbf{max} f_z$  – границы области «пространственных частот», которые при  $\Delta\psi \leq \pi/2$  равны:

$$\mathbf{min} f_z = \frac{2f_{\min}}{c} \cos \Delta\psi, \quad \mathbf{max} f_z = \frac{2f_{\max}}{c}, \quad \mathbf{min} f_x = -\frac{2f_{\max}}{c} \sin \Delta\psi,$$

$$\mathbf{max} f_x = \frac{2f_{\max}}{c} \sin \Delta\psi,$$

при  $\Delta\psi > \pi/2$  –

$$\mathbf{min} f_z = \frac{2f_{\max}}{c} \cos \Delta\psi, \quad \mathbf{max} f_z = \frac{2f_{\max}}{c}, \quad \mathbf{min} f_x = -\frac{2f_{\max}}{c}, \quad \mathbf{max} f_x = \frac{2f_{\max}}{c}.$$

Использованная интерполяция сигнала (2) из полярных координат «частота-угол» в прямоугольные координаты «пространственных частот» обеспечивает существенное улучшение разрешения формируемых двумерных РЛИ при увеличении сектора углов синтезирования – до примерно 0,2 средней длины волны во всех направлениях при синтезировании сигнала по целому кругу [3, с.214]. Но этот результат достигается ценой потери взаимной однозначности преобразований сигнала между областями «частота-угол» и

«дальность-поперечная координата», вследствие чего не представляется возможным получение ДОР объекта по его РЛИ с исключёнными или существенно сниженными отражениями от выявляемых локальных источников рассеяния.

Задача работы состоит в корректировке измеренных диаграмм обратного рассеяния объекта на основе исключения или существенного снижения уровня отражений от локальных источников рассеяния, выявляемых на РЛИ объекта.

Рассмотрим три направления возможного решения этой задачи.

Первое исходит из представления объекта в виде набора локальных рассеивающих центров (РЦ) и оценки их параметров (координат и ЭПР) по максимумам откликов на РЛИ.

Известен [4] способ формирования РЛИ в большом диапазоне изменения ЭПР РЦ, где по откликам на изображении формируют сигналы от РЦ вида  $\sqrt{\sigma(x, z)} \cdot e^{j2\pi(f_z z + f_x x)}$ , где  $x, z$  и  $\sigma(x, z)$  – координаты максимума отклика (в направлении среднего ракурса сектора углов синтезирования) и его ЭПР (интегральное значение в секторе углов синтезирования), после чего из матрицы комплексных огибающих вычитают сигналы от РЦ с большими ЭПР и по скорректированной таким образом матрице повторно синтезируют РЛИ, получая отклики от РЦ с малыми значениями ЭПР, которые не выделялись на уровне фона при первичном синтезировании изображения.

В этом способе корректировка матрицы комплексных огибающих выполняется в координатах «пространственных частот», перехода от них в область «частота-угол» не осуществляется, и, следовательно, возможность получения скорректированных ДОР объекта в исходных отсчётах частоты и угла локации отсутствует.

Другое направление коррекции ДОР исходит из свёртки сигнала, зарегистрированного в области «частота-угол», с помощью двумерного преобразования Фурье без использования «пространственных частот». В этом случае обратное преобразование сигнала из области декартовых координат в область «частота-угол» не представляет сложности. Но возникают проблемы с

разрешением откликов от РЦ, поскольку разрешающая способность двумерных РЛИ по дальности  $\Delta z$  и поперечной координате  $\Delta x$  не определяется только величинами, обратно пропорциональными размерам области определения сигнала, а, согласно [5], в зависимости от относительного диапазона перестройки частоты  $\delta f$  и ширины сектора углов  $\Delta \psi$  составляет

$$\Delta z = \frac{|x|\Delta\psi}{2} + \frac{\lambda_0}{2\delta f}, \quad \Delta x = \frac{|z|\Delta\psi + |x|\delta f}{2} + \frac{\lambda_0}{2\Delta\psi}, \quad (3)$$

где  $x, z$  – координаты элемента изображения относительно оси вращения,  $\lambda_0$  – средняя длина волны.

Попытка расширения сектора углов для повышения разрешающей способности приводит к существенному возрастанию влияния нелинейности по углу на ширину откликов. Это затрудняет выявление на изображениях откликов РЦ, удалённых от оси вращения и приводит к значительным погрешностям оценки их координат и ЭПР. Корректировка ДОР в результате возможна либо в части РЦ, расположенных вблизи оси вращения, либо в малых угловых секторах.

Предлагается третье направление корректировки ДОР объекта, которое наряду с двумерными РЛИ, сформированными с помощью «пространственных частот», дополнительно использует синопамму – набор одномерных РЛИ объекта по дальности (профилей дальности), привязанных к углам локации.

Информация синопамм широко используется в алгоритмах автофокусировки изображений [6]. Использование синопаммы для решения задачи настоящей работы обеспечивает взаимную однозначность и высокую скорость свёртки сигнальной информации в профили дальности и обратно с помощью быстрых прямого и обратного преобразований Фурье.

Профиль дальности  $h$  с номером  $m$  представляет собой одномерное обратное преобразование Фурье комплексных амплитуд  $s$  соответствующей пачки импульсов на частотах диапазона перестройки, период излучения которых применительно к медленно меняющемуся углу наблюдения не учитывают, привязывая все отсчёты профиля дальности к фиксированному

моменту времени или углу локации (соответствующему, например, первому импульсу пачки):

$$h(k, m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} s(n, m) \exp\left(j \frac{2\pi}{N} kn\right) - \text{сигнальные отсчёты профиля дальности,}$$

$$\psi(n, m) = \psi(0, m) - \text{привязка импульсов пачки к одному углу,}$$

где  $m$  – номер пачки импульсов,  $n$  – номер импульса в пачке,  $k=0, \dots, (N-1)$  – номер отсчёта дальности.

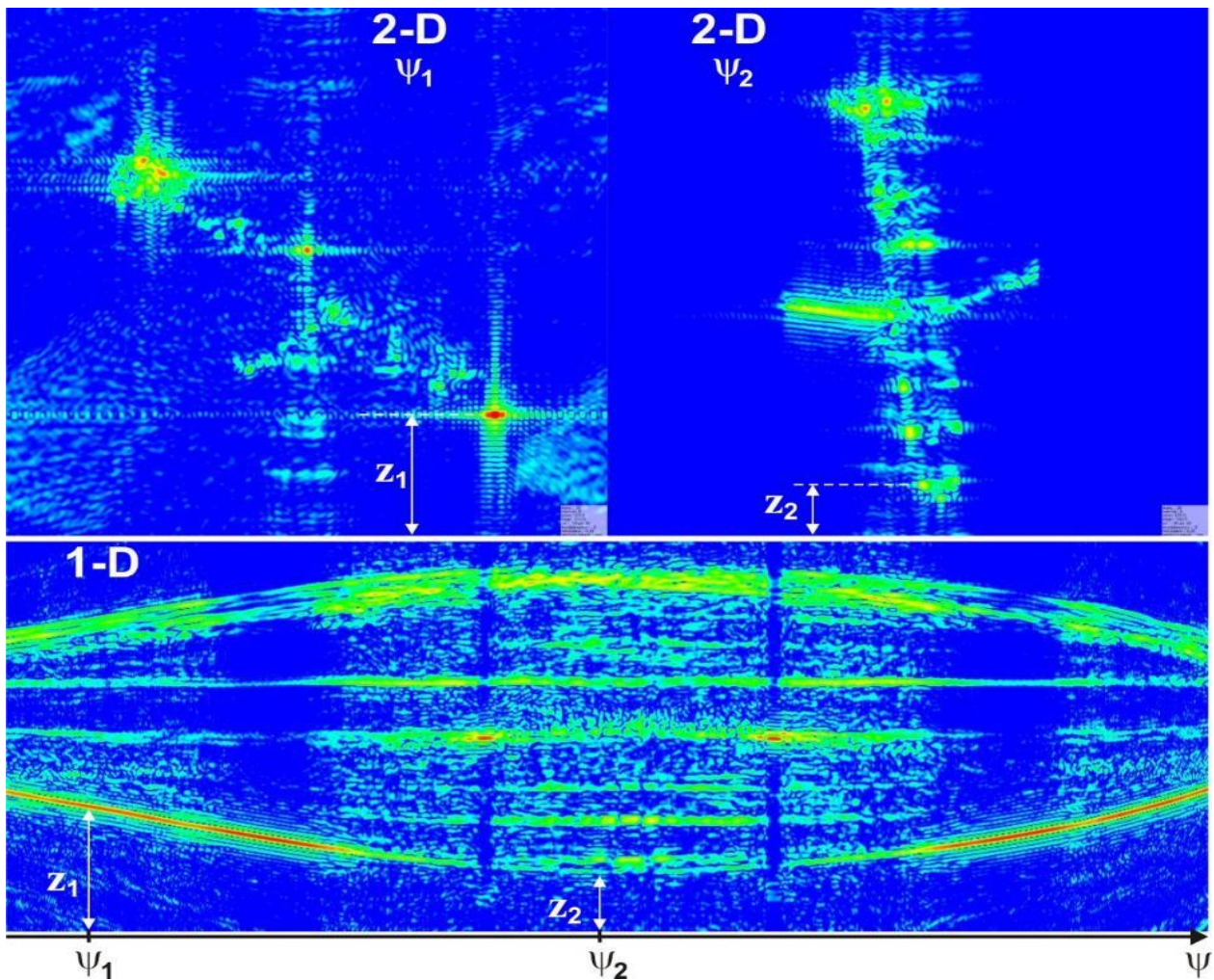


Рис. 2. Пример сопоставления РЛИ (2-D) и синограммы (1-D).

На рис.2 приведен пример сопоставления двух РЛИ (2-D изображения в верхней части рисунка) и синограммы (1-D изображение в нижней части рисунка) исследуемого объекта, вращающегося в горизонтальной плоскости. Полоса частот зондирования 4,25...5,75 ГГц. Ширина сектора углов



синтезирования  $15^\circ$ . Ракурсы РЛИ обозначены  $\psi_1$  и  $\psi_2$ . Интенсивность откликов отражена цветовой палитрой.

На рисунке проиллюстрирована привязка одного из следов синограммы к отклику РЦ на РЛИ, относительные дальности до которого обозначены  $z_1$  и  $z_2$  при углах  $\psi_1$  и  $\psi_2$  соответственно.

После привязки следа на синограмме выделяют область, из которой его удаляют (или понижают уровень отражения), затем скорректированные сигнальные данные с помощью преобразования Фурье возвращают в область «частота-угол»:

$$s_1(n, m) = \sum_{k=0}^{N-1} q \cdot h(k, m) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} kn\right), \quad (4)$$

где  $s_1$  – скорректированный сигнал,

$m$  – номер профиля дальности и пачки импульсов,

$k=0, \dots, (N-1)$  – номер отсчёта дальности,

$n$  – номер импульса в пачке

$$q = \begin{cases} 1, & \text{если } k_{\min} > k \text{ или } k > k_{\max} \text{ или } m_{\min} > m \text{ или } m > m_{\max} \\ q_1, & \text{если } k_{\min} \leq k \leq k_{\max} \text{ и } m_{\min} \leq m \leq m_{\max} \end{cases},$$

$$0 \leq q_1 < 1,$$

$k_{\min}, k_{\max}, m_{\min}, m_{\max}$  – границы выделенной области.

Тем самым задача корректировки угловых ДОР объекта получает решение.

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований в безэховой камере, иллюстрирующие практическую возможность корректировки измеренных угловых ДОР объектов.

В качестве объекта исследований выбраны два металлизированных цилиндра диаметром 5 см, размещённые на малоотражающем поворотном устройстве на расстоянии 8,5 м от измерительной установки (рис.3). Длина цилиндров 25 см и 15 см. Цилиндр большей длины расположен горизонтально, параллельно плоскости локации (лежит на подставке), меньшей – вертикально.

Полоса частот зондирования 7...13 ГГц. Расстояние между цилиндрами порядка 15 см, что в 6 раз больше разрешающей способности по дальности.



Рис. 3. Объект исследований.

На рис.4 приведена измеренная синограмма объекта, привязанная к углам поворота. Локация по нормали к боковой поверхности горизонтального цилиндра соответствует углам  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $360^\circ$ . При углах  $0^\circ$  и  $360^\circ$  горизонтальный цилиндр находится перед вертикальным, при  $180^\circ$  – за ним. На синограмме выделяется яркий след РЦ вертикального цилиндра (показан цифрой 1). Следы РЦ горизонтального цилиндра показаны цифрой 2, они в силу экранировки вертикальным цилиндром прописаны частично.

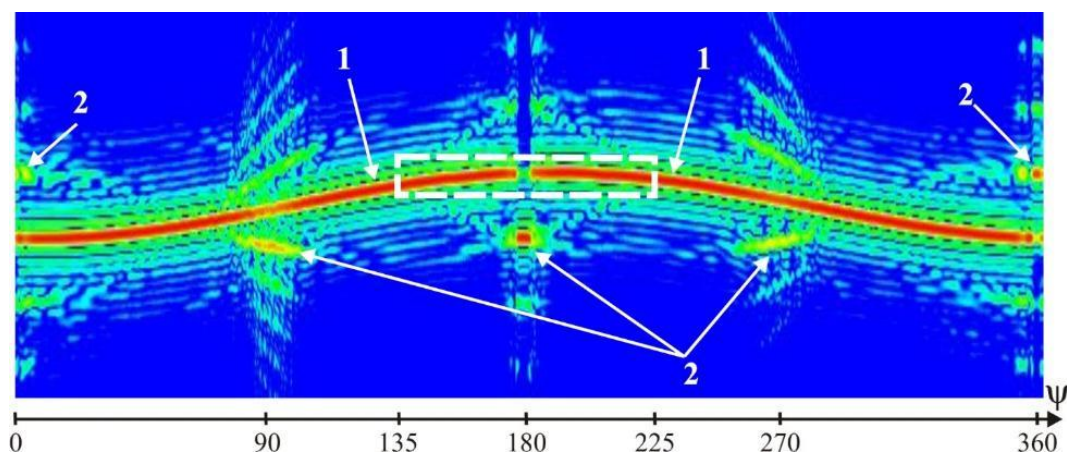


Рис. 4. Синограмма двух цилиндров.

В секторе углов  $180^\circ \pm 45^\circ$  следы РЦ разных цилиндров не пересекаются, что позволяет удалить отражения от одного из них. Выполнив (4) с коэффициентом  $q_1 = 0$  в показанной пунктиром на рис.4 области, получаем скорректированный сигнал с удалёнными отражениями от вертикального цилиндра в секторе углов  $180^\circ \pm 45^\circ$ . После этой корректировки на синограмме (рис.5) проявляются следы от РЦ на краях горизонтального цилиндра и его боковой поверхности.

Результат выполненной операции экспериментально проверен путем сравнения с измерениями отраженного сигнала от одного горизонтального цилиндра.

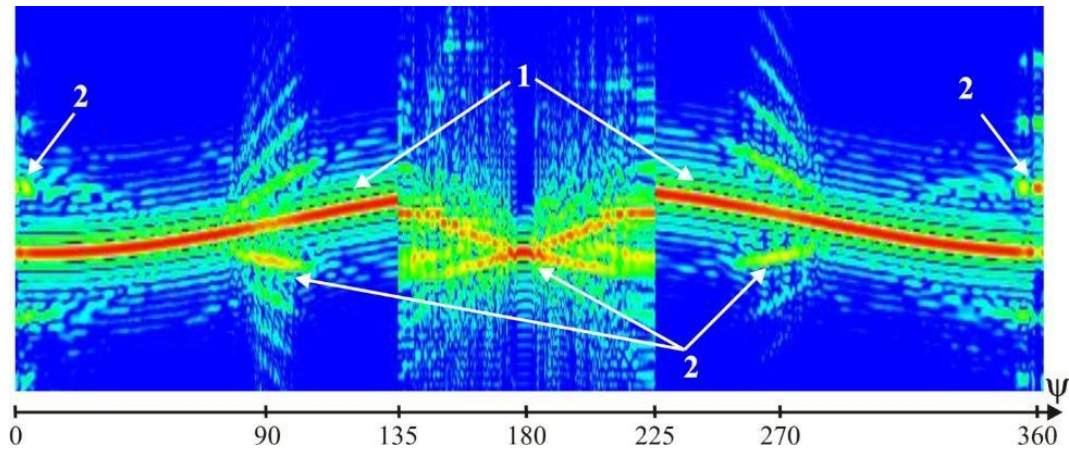


Рис. 5. Скорректированная синограмма двух цилиндров.

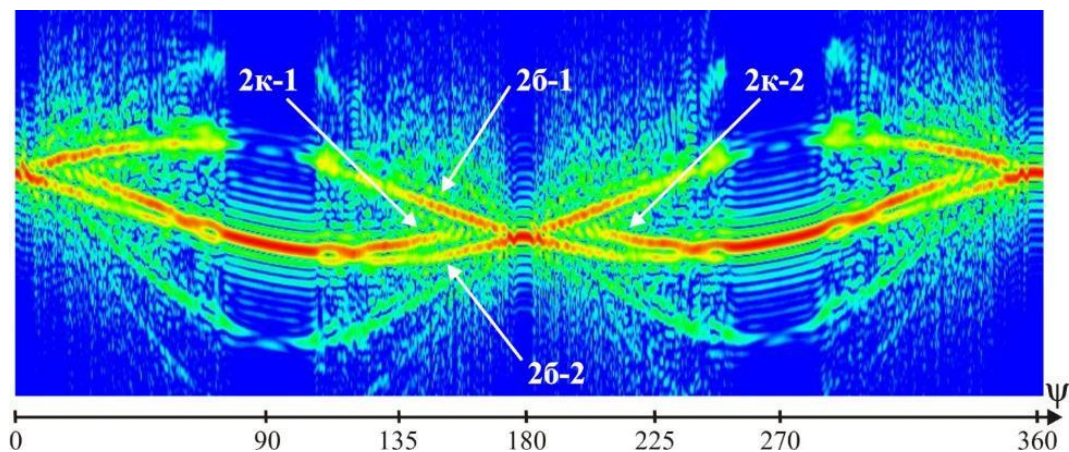


Рис. 6. Синограмма одного горизонтального цилиндра.

На рис.6 приведена экспериментальная синограмма горизонтального цилиндра. На ней отмечены следы двух РЦ на боковой поверхности (2б-1 и 2б-

2), соединяющиеся при локации по нормали к образующей (ракурсы  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $360^\circ$ ), и двух РЦ на краях цилиндра (2к-1 и 2к-2), переходящие в зеркальные отклики от торцов в области ракурсов  $90^\circ$  и  $270^\circ$ .

Сравнение следов на рис.5 и рис.6 подтверждает исключение отклика от РЦ вертикального цилиндра в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$ . Однако в секторах углов  $135^\circ \dots 150^\circ$  и  $210^\circ \dots 225^\circ$  эта операция хотя и выявляет следы РЦ горизонтального цилиндра, но не даёт их правильного наклона, что может объясняться сближением РЦ двух цилиндров на расстояние взаимного влияния, неустраняемого путём исключения откликов согласно (4).

Исходя из выполненного анализа, оценим результаты корректировки РЛИ и ДОР объекта для сектора углов  $180^\circ \pm 30^\circ$ .

На рис.7 приведены двумерные РЛИ объекта в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$  до и после коррекции синограммы. Интенсивность отражений на изображениях показана палитрой, цвета которой привязаны к значениям ЭПР в дБ относительно уровня  $10^{-5} \text{ м}^2$ .

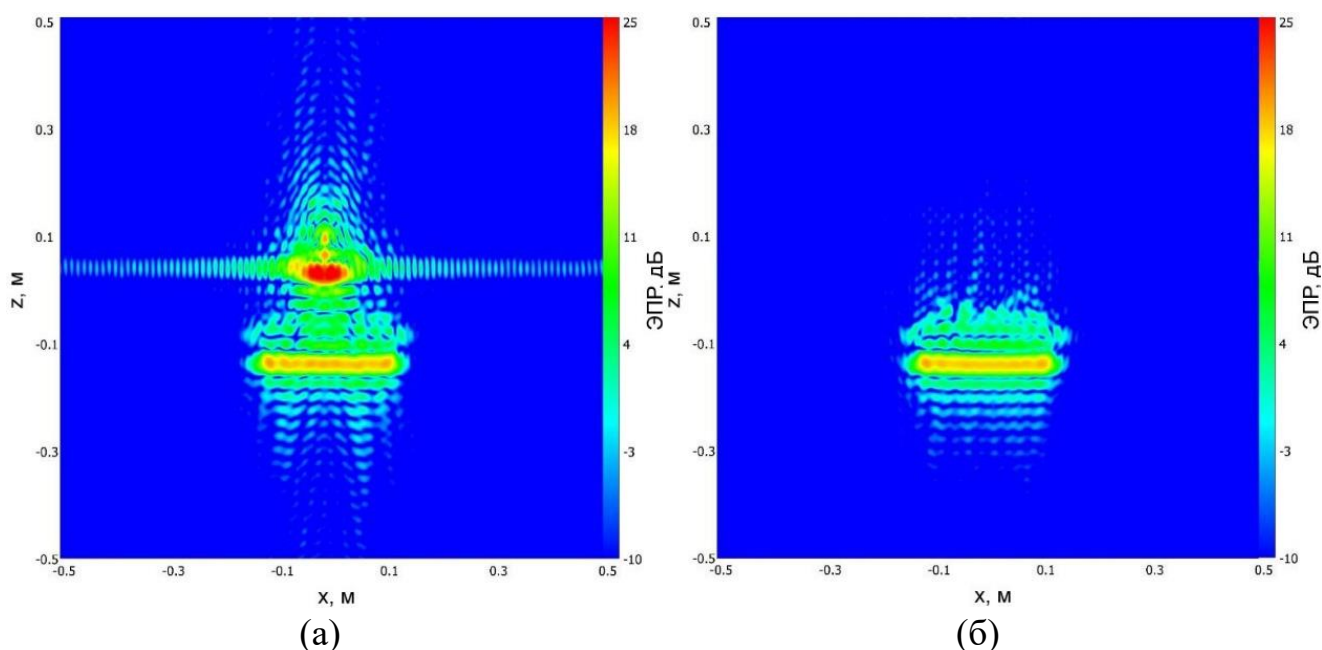


Рис. 7 – 2-D РЛИ объекта в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$  до (а) и после (б) коррекции синограммы.

На рис.8 приведено двумерное РЛИ одиночного горизонтального цилиндра в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$ , которое практически совпадает со

скорректированным РЛИ на рис.7(б). Видно, что отражения от РЦ вертикального цилиндра в указанном секторе углов устранены с точностью до цифрового шума.

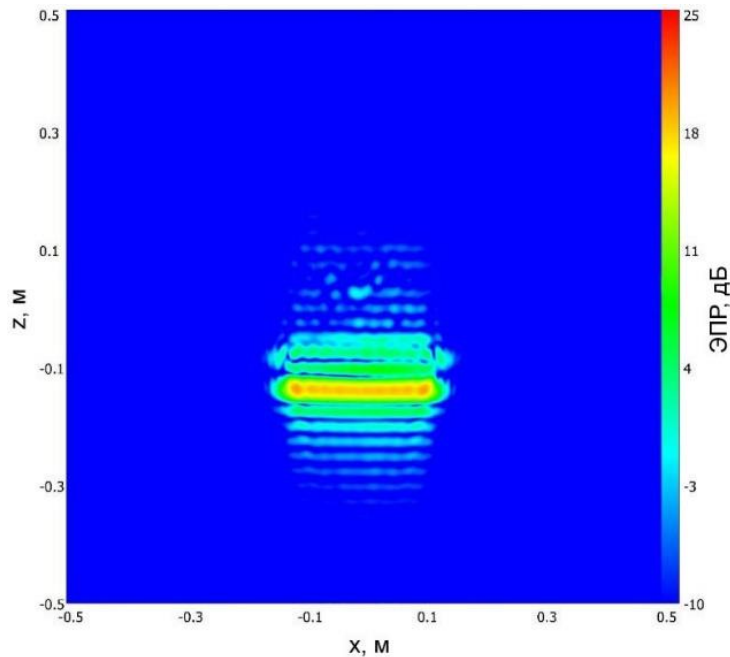


Рис. 2. 2-D РЛИ горизонтального цилиндра в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$ .

На рис.9 и рис.10 сопоставлены графики ДОР двух цилиндров на средней частоте 10 ГГц до и после исключения из синопаммы трека 1, а также ДОР одного горизонтального цилиндра. Значения ЭПР на ДОР отложены в дБ относительно уровня  $10^{-5} \text{ м}^2$ .

Сравнение графиков показывает, что в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$  ДОР объекта после коррекции синопаммы практически повторяет ДОР горизонтального цилиндра как по уровням основного и боковых лепестков, так и по их ширине и угловому положению.

Для условий измерения радиолокационных характеристик небольших (габаритный размер до 2 м) объектов в БЭК также может быть использован способ коррекции угловых ДОР с помощью двумерного преобразования Фурье без использования «пространственных частот». В этом случае вследствие нелинейной зависимости фазы отражённого сигнала от угла получают 2-D изображение объекта в фактически косоугольной неравномерной координатной сетке, шаг которой увеличивается соответственно (3) по мере удаления от оси



вращения объекта (центра кадра). Однако РЦ, расположенные в центральной области кадра, разрешаются, и отражения от них могут быть успешно скомпенсированы, что иллюстрируют рисунки ниже.

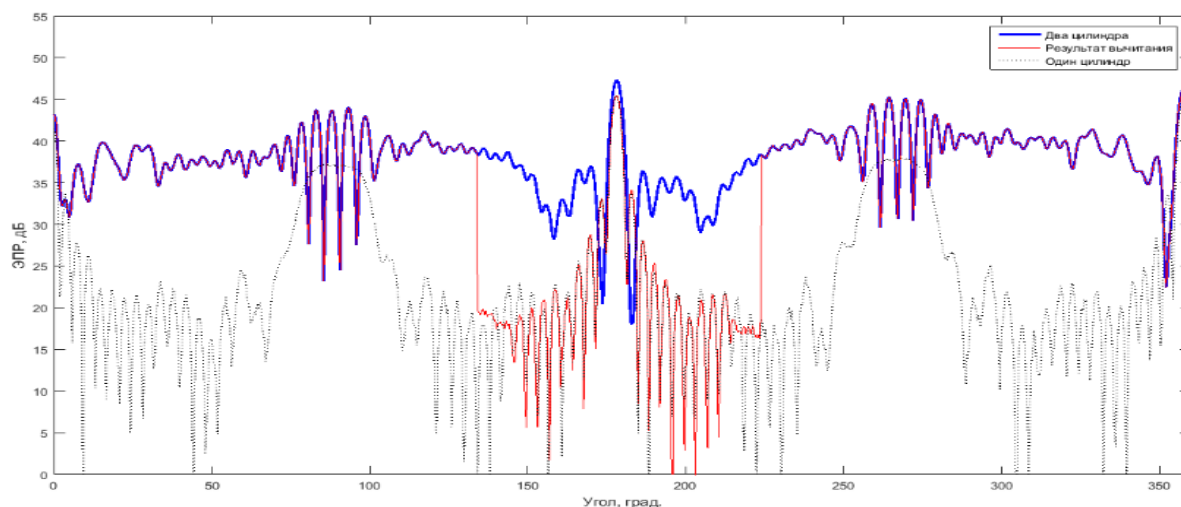


Рис. 9. Сопоставление на частоте 10 ГГц ДОР двух цилиндров до и после коррекции их синограммы с ДОР горизонтального цилиндра.

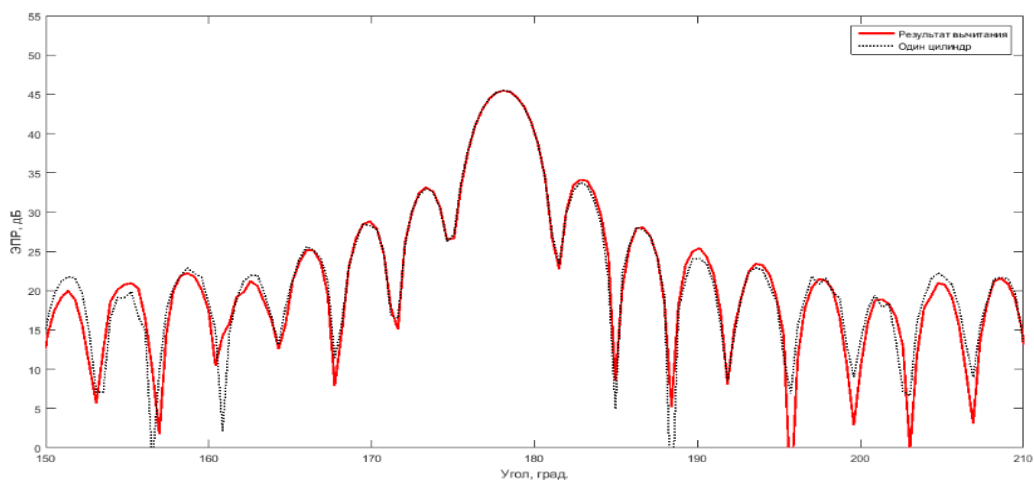


Рис. 10. ДОР одного горизонтального цилиндра и скорректированная ДОР двух цилиндров в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$ .

На рис.11 сопоставлены двумерное РЛИ двух цилиндров, полученное в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$  без использования «пространственных частот», и оно же после обнуления откликов в показанной пунктиром области. Изображения преобразованы к кадру размером 1 м. Сравнение рис.11 и рис.7 показывает значительную погрешность геометрической и энергетической метрик

изображения, полученного без использования «пространственных частот», однако отклики от РЦ от цилиндров разрешаются.

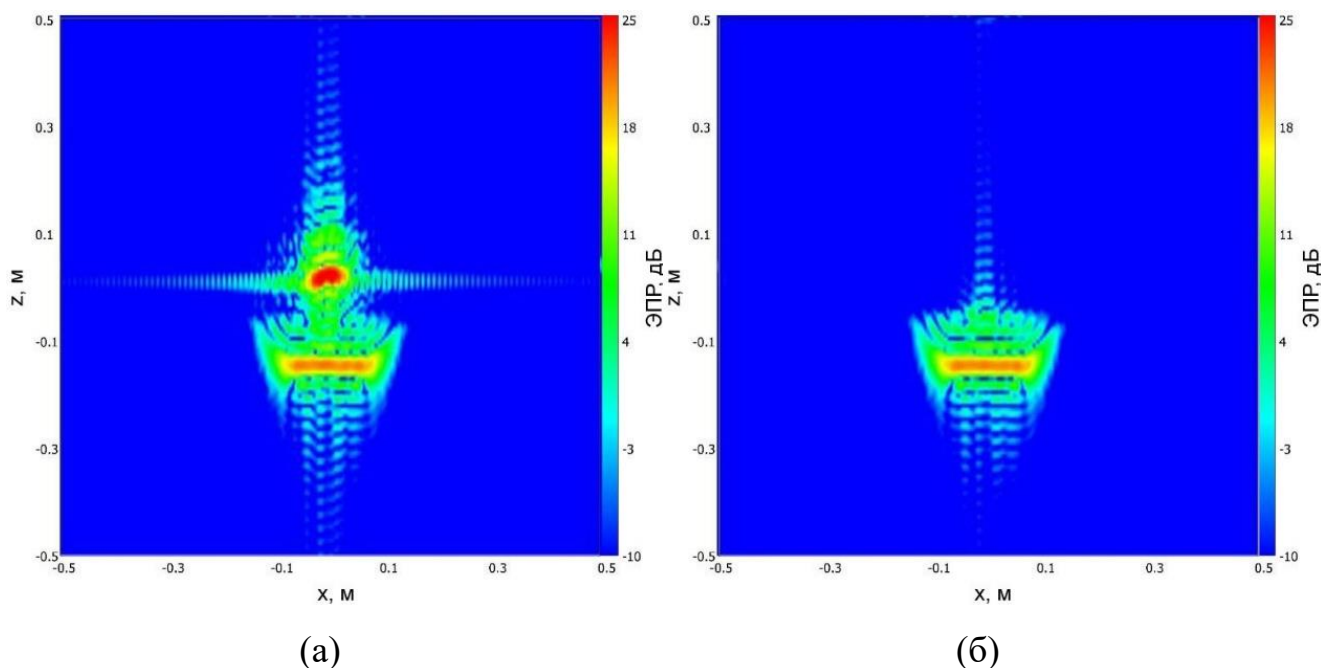


Рис. 11. 2-D РЛИ двух цилиндров без использования «пространственных частот» в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$  до (а) и после (б) коррекции.

Скорректированные этим способом ДОР двух цилиндров в сравнении с экспериментально полученной диаграммой одного горизонтально расположенного цилиндра сопоставлены на рис.12 в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$ .

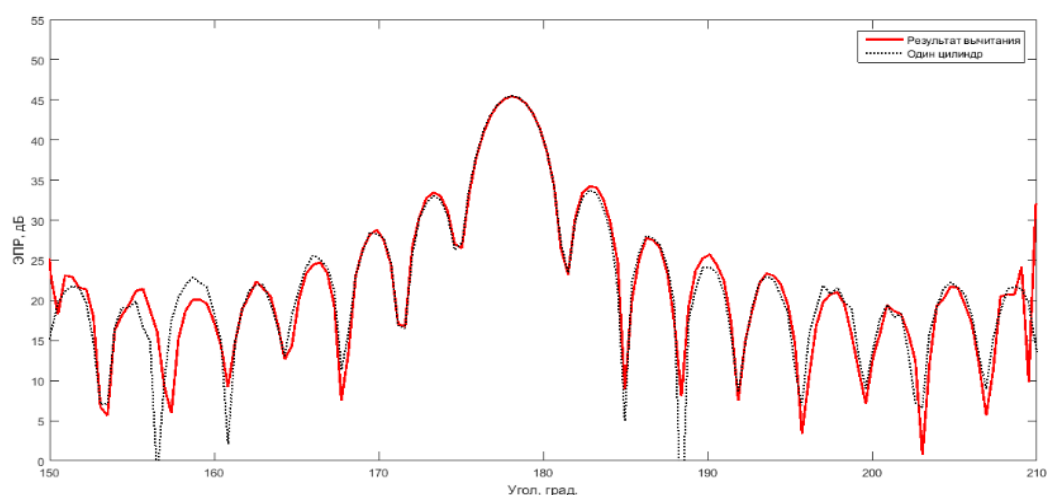


Рис. 12. ДОР двух цилиндров, скорректированная по 2-D РЛИ без «пространственных частот», и ДОР горизонтального цилиндра в секторе углов  $180^\circ \pm 30^\circ$ .

Необходимо отметить, что несмотря на иллюстрируемую сравнением рис.12 и рис.10 практическую идентичность корректировок ДОР двух цилиндров по синограмме и двумерному РЛИ без «пространственных частот», корректировка по синограмме в общем случае предпочтительна, поскольку ограничена только условием разрешения РЦ друг от друга, но не расстоянием от устраняемых откликов до оси вращения или размером сектора углов.

Таким образом, решена задача корректировки измеренных диаграмм обратного рассеяния объекта по его двумерным РЛИ для обеспечения возможности оценки ЭПР объекта при исключении или снижении уровня отражений от элементов его конструкции. Способ может быть использован при разработке предложений по противорадиолокационной маскировке объекта, а также для уменьшения погрешности экспериментальных оценок его радиолокационных характеристик за счёт выявления и компенсации не устранённых источников фоновых отражений от системы подвеса, подставок, маскировочного чехла и т.п.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №18-07-00026 А).

### Литература

1. Грибков А.С., Грибков В.С., Моряков С.И., Слухаева Д.А. Способ экспериментального определения вкладов отражений от элементов конструкции объектов по их радиолокационным изображениям // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского // ВКА им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, выпуск 670, С.105-110, 2019.
2. Chen V.C., Martorella M. Inverse synthetic aperture radar imaging. Principles, Algorithms and Applications. // SciTech publishing, Edison, NJ, 2014.
3. Радиолокационные характеристики объектов. Методы исследования. Монография / Под ред. С.М. Нестерова. – М.: Радиотехника, 2015.



4. Блиновский А.М., Крюков С.В. «Способ получения двумерного радиолокационного изображения объекта в большом диапазоне изменения величин эффективных площадей рассеивания локальных центров при многочастотном импульсном зондировании» / Патент RU 2372627 С1, кл. G01S 13/89, Б.И. 2009.
5. Нестеров С.М., Силкин А.Т., Скородумов И.А., Ягольников С.В. Особенности формирования двумерных радиолокационных изображений объектов ступенчатыми ЛЧМ-сигналами // Радиотехника. 2001. №5.
6. Моряков С.И., Нестеров С.М., Скородумов И.А. Фокусировка инверсно-синтезированных радиолокационных изображений объектов при измерениях в условиях открытых полигонов // «Журнал радиоэлектроники»: электронный журнал. 2016. №6. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun16/2/text.pdf>.

**Для цитирования:**

Моряков С.И., Нестеров С.М., Скоков П.Н., Скородумов И.А. Способ корректировки диаграмм обратного рассеяния радиолокационного объекта при исключении или снижении уровня отражений от элементов его конструкции. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №6. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jun20/7/text.pdf>. DOI 10.30898/1684-1719.2020.6.7