



## Синтез дальностного портрета объекта на основе моделирования отражательных характеристик его отдельных частей

В. М. Гусаков<sup>а</sup>, канд. техн. наук, старший преподаватель, [orcid.org/0009-0003-3679-3209](https://orcid.org/0009-0003-3679-3209), [St\\_325@mail.ru](mailto:St_325@mail.ru)

Ю. Ф. Матасов<sup>б</sup>, канд. техн. наук, доцент, [orcid.org/0009-0003-2435-8365](https://orcid.org/0009-0003-2435-8365)

М. Е. Иванов<sup>б</sup>, ассистент, [orcid.org/0000-0002-7584-6946](https://orcid.org/0000-0002-7584-6946)

<sup>а</sup>Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Ждановская наб., 13, Санкт-Петербург, 197198, РФ

<sup>б</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Б. Морская ул., 67, Санкт-Петербург, 190000, РФ

**Введение:** при создании систем управления на транспорте необходима информация о наблюдаемых объектах, в том числе в радиолокационном диапазоне. Моделирование с помощью электродинамических пакетов для этих целей связано с большим объемом вычислений, что для сложных объектов приводит к использованию допущений, вследствие чего результаты моделирования не соответствуют реальным характеристикам объекта. **Цель:** разработать метод получения радиолокационного изображения объекта на основе расчетов отражательных характеристик его отдельных составных частей. **Результаты:** разработанный метод заключается в разбиении исходного сложного объекта на части, радиолокационные изображения которых после уменьшения эффективных площадей появившихся кромок за счет добавления дополнительных элементов рассчитываются отдельно. Далее из изображений удаляется информация о дополнительных элементах, появившихся после разбиения, после чего из результатов удаления восстанавливается итоговое изображение объекта. Разбиение модели на две части позволит параллелизировать вычисления, а также уменьшить вычислительные затраты при изменении одной из них, например при нанесении диэлектрического слоя на скругленную сторону. Благодаря методу получен дальностный портрет тестовой модели в виде скругленного с одной стороны цилиндра путем разбиения ее на две части поперек оси цилиндра. **Практическая значимость:** за счет составления дальностного портрета объекта на основе дальностных портретов его частей экономятся вычислительные мощности при создании цифровых двойников технических изделий, а также ускоряется процесс производства конечного продукта.

**Ключевые слова** – радиолокационное изображение, дальностный портрет, эффективная площадь рассеяния, синограмма.

**Для цитирования:** Гусаков В. М., Матасов Ю. Ф., Иванов М. Е. Синтез дальностного портрета объекта на основе моделирования отражательных характеристик его отдельных частей. *Информационно-управляющие системы*, 2026, № 2, с. 27–35. doi:10.31799/1684-8853-2026-2-27-35, EDN: RLYFIA

**For citation:** Gusakov V. M., Matasov Yu. F., Ivanov M. E. Synthesis of a radar range portrait of an object based on modeling the reflective characteristics of its individual parts. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2026, no. 2, pp. 27–35 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2026-2-27-35, EDN: RLYFIA

### Введение

В настоящее время разрешающая способность современных радиолокационных станций (РЛС), в том числе в составе систем помощи водителю, позволяет не просто определить дальность до цели и ее эффективную площадь рассеяния (ЭПР), но и получить ее дальностный и поляризационный портреты. Возможность получения совокупности уникальных признаков объекта и применение современных алгоритмов обработки информации [1, 2] способствуют созданию эффективных систем поддержки принятия решений, в том числе для систем автономного управления движением транспорта [3, 4]. В то же время для распознавания и классификации наблюдаемых объектов необходима априорная информация об их сигнатурах в виде базы данных [5, 6], заполнение которой может производиться разными способами [7]: непосредственным многократным наблюдением

типовых объектов, измерениями радиолокационных характеристик (РЛХ) объектов или их макетов с использованием радиолокационных измерительных комплексов, а также расчетами РЛХ 3D-моделей объектов с помощью электродинамических пакетов [8, 9]. Непосредственное наблюдение объектов удобно при движении по одному маршруту, но обычно не позволяет получить все ракурсы, а порой оно вообще невозможно. При всей убедительности измерений с использованием радиолокационных измерительных комплексов [10, 11] экспериментальные методы определения РЛХ объектов требуют оборудования специальных полигонов или безэховых камер, сложной аппаратуры, самого объекта или его макета, больших затрат времени и средств [12]. Пакеты моделирования электродинамических задач (САПР) доказали свою эффективность при решении задач рассеяния электромагнитных волн на телах различной формы и широко используются как на

этапе проектирования для формирования необходимого облика объекта перед проведением измерений с использованием радиолокационных измерительных комплексов [13, 14], так и для оценки РЛХ объектов на основе информации об их внешнем виде.

В работе рассмотрены особенности получения радиолокационного изображения объекта с использованием электродинамических пакетов.

### Краткие теоретические сведения

При расчете в пакетах электродинамического моделирования диаграмм обратного рассеяния (ДОР) на определенной частоте результатами вычислений являются комплексные значения напряженностей электрического поля  $E$  в зависимости от углов наблюдения  $\theta$  и  $\varphi$  в сферической системе координат, как правило, представленные в виде массива:

$$\begin{bmatrix} \theta_1 & \text{Re}(\mathbf{E}_{\theta_1}) & \text{Im}(\mathbf{E}_{\theta_1}) & \text{Re}(\mathbf{E}_{\varphi_1}) & \text{Im}(\mathbf{E}_{\varphi_1}) \\ \theta_2 & \text{Re}(\mathbf{E}_{\theta_2}) & \text{Im}(\mathbf{E}_{\theta_2}) & \text{Re}(\mathbf{E}_{\varphi_1}) & \text{Im}(\mathbf{E}_{\varphi_1}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_1 & \text{Re}(\mathbf{E}_{\theta_1}) & \text{Im}(\mathbf{E}_{\theta_1}) & \text{Re}(\mathbf{E}_{\varphi_2}) & \text{Im}(\mathbf{E}_{\varphi_2}) \\ \theta_2 & \text{Re}(\mathbf{E}_{\theta_2}) & \text{Im}(\mathbf{E}_{\theta_2}) & \text{Re}(\mathbf{E}_{\varphi_2}) & \text{Im}(\mathbf{E}_{\varphi_2}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \cdot (1)$$

Результаты решения позволяют рассчитать эффективную площадь рассеяния объекта на определенной частоте:

$$\sigma = 4\pi r^2 \left( \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}} \right)^2,$$

где  $r$  – расстояние до объекта;  $E_{\text{пад}}$  и  $E_{\text{отр}}$  – напряженности падающего и отраженного электрических полей.

Для формирования дальностного портрета необходимо произвести вычисления ДОР в диапазоне рабочих частот, чтобы получить отраженный сигнал, аналогичный зондирующему сигналу РЛС с линейно-частотной модуляцией:

$$S(t) = S_0 \cos \left\{ \varphi_0 + 2\pi \left( f_0 + \frac{b}{2} t^2 \right) \right\},$$

где  $S_0$  – амплитуда сигнала;  $\varphi_0$  – начальная фаза.

Коэффициент  $b$ , являющийся тангенсом угла наклона частоты, определяется соотношением

$$b = \frac{f_{\text{max}} - f_{\text{min}}}{T_s},$$

где  $f_{\text{max}}$  и  $f_{\text{min}}$  – максимальная и минимальная частота линейно-частотно-модулированного сигнала;  $T_s$  – период сигнала.

Полученные результаты, как правило, для фиксированного угла  $\varphi$  далее пересчитываются в коэффициенты отражения, для чего сначала находится вектор напряженности электрического поля как сумма проекций на оси координат, который потом делится на значение вектора напряженности падающего поля:

$$\mathbf{S}_{\text{отр}}(f_i, \theta_i) = \frac{\left( 2\pi \sqrt{\mathbf{E}_0^2(f_i, \theta_i)_i + \mathbf{E}_\varphi^2(f_i, \theta_i)} \right)}{\mathbf{E}_{\text{пад}}}. (2)$$

Формируется матрица коэффициентов отражения в диапазоне углов и частот:

$$\mathbf{S}_{\text{отр}}(f, \theta) = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{\text{отр}}(f_1, \theta_1) & \mathbf{S}_{\text{отр}}(f_1, \theta_2) & \dots \\ \mathbf{S}_{\text{отр}}(f_2, \theta_1) & \mathbf{S}_{\text{отр}}(f_2, \theta_2) & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}. (3)$$

Далее по столбцам необходимо произвести обратное преобразование Фурье, тем самым представив сигнал во временной области [15, 16]:

$$\mathbf{S}_t(\Delta t, \theta, \varphi) = FT(\mathbf{S}_f(f, \theta, \varphi)), (4)$$

где  $\mathbf{S}_t$  и  $\mathbf{S}_f$  – представление сигнала от цели во временной и частотной областях;  $FT$  – функция преобразования Фурье.

На последнем этапе пересчитываются полученные отчеты времени в расстояния:

$$\mathbf{S}_t(\Delta t, \theta) \rightarrow \left[ \Delta r = f \frac{c}{2F} \right] \rightarrow \mathbf{S}_{\text{image}}(\Delta r, \theta). (5)$$

Графическое изображение полученной матрицы коэффициентов отражения в виде синопграммы представляет собой дальностный портрет цели в диапазоне углов наблюдения.

В результате получения дальностного портрета локальные центры отражения будут разнесены по дальности, если расстояние между ними будет больше разрешающей способности, зависящей в рассматриваемом случае от полосы частот.

### Метод получения радиолокационного изображения объекта на основе расчетов отражательных характеристик его отдельных составных частей

Объем вычислений и оперативной памяти, необходимый для решения задачи рассеяния при использовании электродинамических пак-

тов, определяется соотношением геометрии объекта и длины электромагнитной волны, характеристиками используемых материалов и окружающего пространства, а также выбранным на основе предыдущих данных методом расчета. Далее геометрическая модель разбивается на элементарные элементы – фацеты, для каждого из которых производятся индивидуальные расчеты [17]. От количества фацетов и алгоритма расчета зависит время моделирования. Для крупных объектов из-за огромного количества фацетов доступны только асимптотические методы расчета, при этом в качестве материала объекта должен быть выбран идеальный проводник. Добавление диэлектрических элементов, например солнечных батарей или композитных материалов, в модель объекта приводит к укорочению длины волны в этом слое [18] и значительному увеличению количества фацетов, в результате чего расчеты даже на современной ЭВМ будут занимать несколько недель или даже месяцев.

Ускорение процесса расчетов ДОР объектов ограничено тем, что получаемые значения напряженности электрического поля представляют собой сумму напряженностей электрических полей волн, отраженных от локальных центров рассеяния [19]:

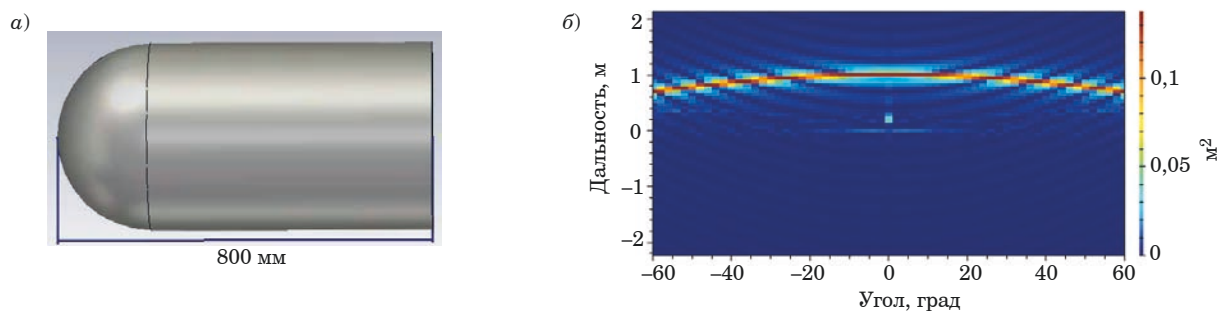
$$\vec{E}_{\text{сум}}(\theta, \varphi) = \sum \vec{E}_i(\theta, \varphi), \quad (6)$$

вследствие чего в результатах расчета ДОР на каждой частоте нет информации об отдельных локальных центрах отражения. При расчете ДОР в полосе частот вычисления можно распараллелить на несколько ЭВМ, каждая при этом будет производить вычисления в своей полосе частот. Такой подход может ускорить процесс расчета ДОР объектов при условии, если ресурсы отдельной ЭВМ позволяют произвести расчеты модели. В противном случае приходится упрощать исходную модель, что может привести к несоответствию реальной и расчетной ДОР.

В качестве альтернативы упрощения исходной модели в статье предлагается разбить исследуемый объект на несколько частей, между которыми нет переотражений. Тогда объем вычислений для отдельной части будет меньше, чем для всего объекта. Также при изменении одной части, например нанесении диэлектрического покрытия или изменении геометрии, не нужно будет пересчитывать отражательные характеристики всего объекта. Однако в этом случае нельзя просто соединить отдельные изображения из-за появления дополнительных локальных центров рассеяния на местах разделения частей. Причем дополнительные локальные центры могут значительно выделяться на фоне объекта.

Предлагаемый метод основан на том, что преобразование Фурье является линейным оператором, и удаление части радиолокационного изображения из синограммы приведет к удалению соответствующих спектральных составляющих. Таким образом, после удаления из изображений отдельных элементов объекта области, не связанных с самим объектом (новые плоскости и кромки), путем простого поэлементного сложения полученных после удаления информации новых элементов возможно получить изображение самого объекта. Так как эффективная площадь появляющихся в результате разделения объекта кромок достаточно большая, то для уменьшения искажения синтезируемого изображения полученные новые кромки частей исходного объекта предлагается заменить на менее заметные, например сферу или цилиндр.

В качестве примера использования метода представлена тестовая геометрическая модель объекта (рис. 1, а) в виде цилиндра из идеального проводника длиной 800 мм и диаметром 400 мм, одна из сторон которого скруглена, а также его синограмма (рис. 1, б) в полосе частот 9–11 ГГц и диапазоне углов  $\pm 60^\circ$ . Углу  $0^\circ$  соответствует положение модели, при котором электромагнитная волна падает на скругленную сторону вдоль оси цилиндра. Расчет произведен



■ **Рис. 1.** Геометрическая модель объекта (а) и его синограмма (б)  
 ■ **Fig. 1.** Geometric model of the object (а) and its synogram (б)

в САПР CST Studio Suite асимптотическим методом с дискретностью частоты 20 МГц и шагом угла поворота 2°. Для построения синограмм использовалось авторское программное обеспечение, созданное на основе соотношений (1)–(6).

На синограмме в диапазоне всех углов наблюдения хорошо заметна сферическая часть объекта, так как сфера имеет одинаковую ЭПР во всех углах наблюдения, в длинноволновой области равную  $\sigma = \pi a^2 = 0,126 \text{ м}^2$ , где  $a$  – радиус сферы.

Значение ЭПР сферической части исследуемого объекта на синограмме порядка 0,13 м<sup>2</sup>, что соответствует теоретическим расчетам. Также на графике заметен след задней кромки. Расстояние от первой блестящей точки до задней кромки порядка 0,8 м, что также соответствует геометрии модели.

Также при углах, близких к 60°, появляется след от боковой части цилиндра, ЭПР которой также соответствует теоретическим расчетам, а именно:

$$\sigma = \frac{2\pi a l^2}{\lambda} \sin(60^\circ) \left[ \frac{\sin(kl \cos 60^\circ)}{kl \cos 60^\circ} \right]^2 = 0,00248 \text{ м}^2,$$

где  $l$  – длина цилиндра (200 мм);  $\lambda$  – длина волны (3 см);  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число.

Исходная модель была поделена на две части одинакового размера поперек оси вращения, синограммы полученных частей рассматриваемого объекта находятся в полосе частот 9–11 ГГц.

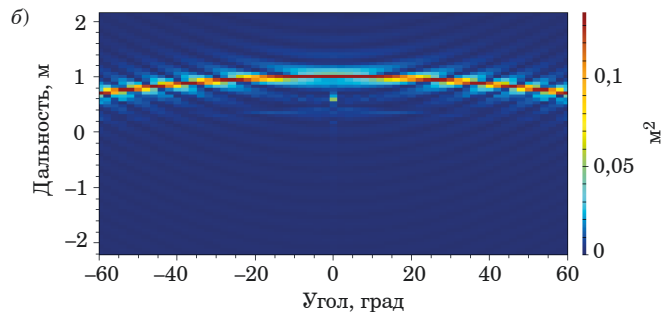
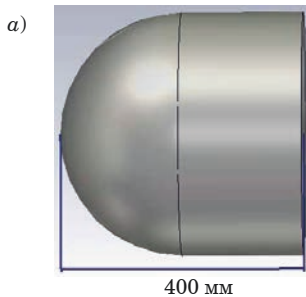
Первая половина представляет собой укороченный вариант исходной модели (рис. 2, а). Как и следовало ожидать, заметно изменилась только длина объекта – след от задней кромки сместился выше на 400 мм (рис. 2, б). Также пропал след от боковой поверхности цилиндра, который из-за малых размеров боковой стенки цилиндра слился со следом сферы и немного заметен только при углах около 60°.

Вторая половина представляет собой цилиндр (рис. 3, а), у которого диаметр совпадает с длиной боковой части.

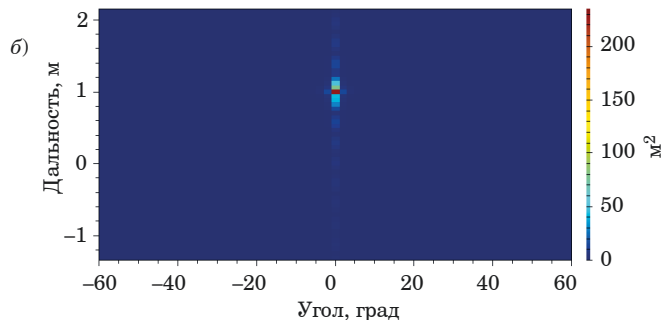
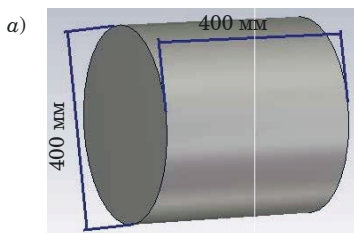
При угле наблюдения 0° имеется яркий след от передней части полученного цилиндра (рис. 3, б), уровень ЭПР которого соответствует ЭПР диска диаметром 400 мм:

$$\sigma = \frac{4\pi^3 a^4}{\lambda^2} = 220,5 \text{ м}^2,$$

где  $\lambda$  – длина волны (3 см);  $a$  – радиус цилиндра.



■ **Рис. 2.** Геометрическая модель первой половины объекта (а) и ее синограмма (б)  
 ■ **Fig. 2.** Geometric model of the first half of the object (а) and its synogram (б)



■ **Рис. 3.** Геометрическая модель второй половины объекта (а) и ее синограмма (б)  
 ■ **Fig. 3.** Geometric model of the second half of the object (а) and its synogram (б)

Значение ЭПР боковой части цилиндра при угле  $60^\circ$  практически равно ЭПР боковой части первой половины объекта ( $0,00248 \text{ м}^2$ ).

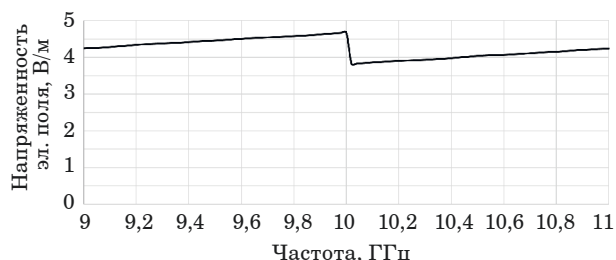
Поскольку значение ЭПР боковой части на несколько порядков меньше максимального значения ЭПР цилиндра, то на синопамме наблюдается только его плоская часть.

Также на синопамме в диапазоне углов  $\pm 5^\circ$  наблюдаются боковые всплески вдоль оси дальности, из-за которых удаление только локального центра отражения от основания цилиндра с изображения не позволит удалить информацию о нем и корректно соединить изображения частей исходной модели.

Например, ЭПР локального центра отражения цилиндра при угле наблюдения  $0^\circ$  составляет  $220 \text{ м}^2$ , а значение первого бокового лепестка на расстоянии  $0,4 \text{ м}$  от него примерно  $13 \text{ м}^2$ , что все равно на два порядка больше ЭПР исходного объекта (см. рис. 1). На этом же расстоянии находится и задняя кромка цилиндра, след от которой наблюдается на исходной синопамме. В связи с этим просто удалить боковую составляющую с изображения некорректно, так как потеряется информация об остальных элементах.

Зависимость напряженности электрического поля, отраженного от цилиндра при угле наблюдения  $0^\circ$ , от частоты, из которой при обратном преобразовании Фурье с использованием соотношений (5) и (6) на синопамме получится локальный центр отражения от диска (передняя часть цилиндра), представлена на рис. 4. Для упрощения процедуры удаления информации о данном локальном центре допустим, что зависимость равномерна во всей полосе частот и при всех углах наблюдения, поэтому в первом приближении информацию о локальном центре отражения рассмотрим как совокупность прямоугольных импульсов на частотной оси.

Тогда в результате преобразования Фурье во временной области локальные центры рассеяния



■ **Рис. 4.** Зависимость напряженности электрического поля, отраженного от цилиндра при угле наблюдения  $0^\circ$ , от частоты

■ **Fig. 4.** The dependence of the E-field strength reflected from a cylinder at an observation angle of  $0^\circ$  on the frequency

представляют собой не просто точки в пространстве, а функции вида  $\sin x/x$ . Расстояния между боковыми лепестками полученных функций во временной области обратно пропорциональны полосе частот (ширине импульса). В таком случае для удаления информации о локальном центре рассеяния необходимо из изображения вычесть все составляющие для каждого угла наблюдения.

Сравнение результатов аппроксимации боковых составляющих функцией вида  $\sin x/x$  со значениями ЭПР, полученными на основе рассчитанных данных, приведено на рис. 5, а. Разница между значениями составляет не более  $3 \text{ дБ}(\text{м}^2)$ , за исключением области  $0 \text{ м}$  и нулей аппроксимирующей функции, которые выражены более глубоко, что необходимо дополнительно принять при расчетах. Несовпадения в нулях возможно учесть, например, подбором цифрового фильтра и аппроксимацией полиномом на этих участках.

Но из-за того, что уровень ЭПР передней кромки цилиндра и его боковых составляющих гораздо выше отражения от задней кромки, как и ЭПР в целом исходного объекта, ошибка результата аппроксимации в  $1 \%$  все равно не позволит корректно восстановить исходный объект.

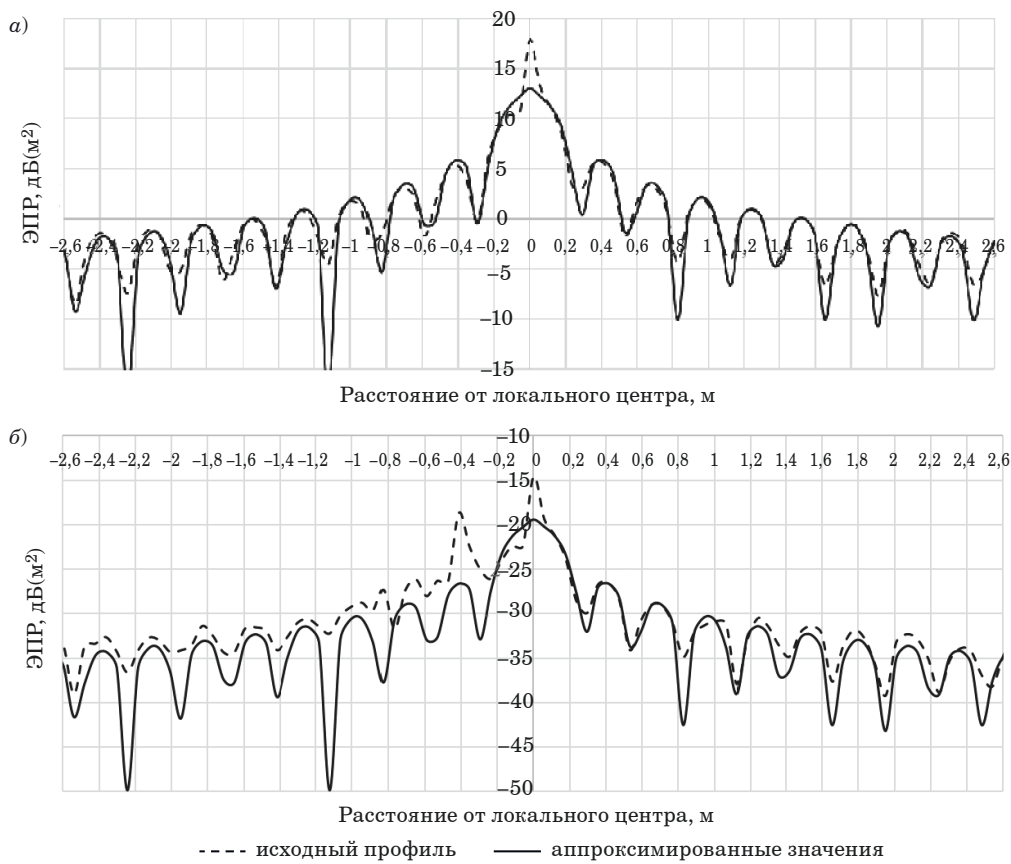
Для решения указанной проблемы необходимо, чтобы ЭПР получаемых в результате разделения новых локальных центров отражения были соизмеримы с исходными. В качестве решения в работе предложено добавить полусферу к передней части цилиндра. Результат расчета дальностного портрета при угле  $0^\circ$  и аппроксимации боковых составляющих функцией  $\sin x/x$  представлен на рис. 5, б. Отражение от задней кромки наблюдается на расстоянии  $0,4 \text{ м}$ , что соответствует геометрии объекта.

Также в сравнении с рис. 5, а наблюдается большее несоответствие графиков между собой. Это связано с тем, что в дальностном профиле стали заметны составляющие от задней кромки цилиндра.

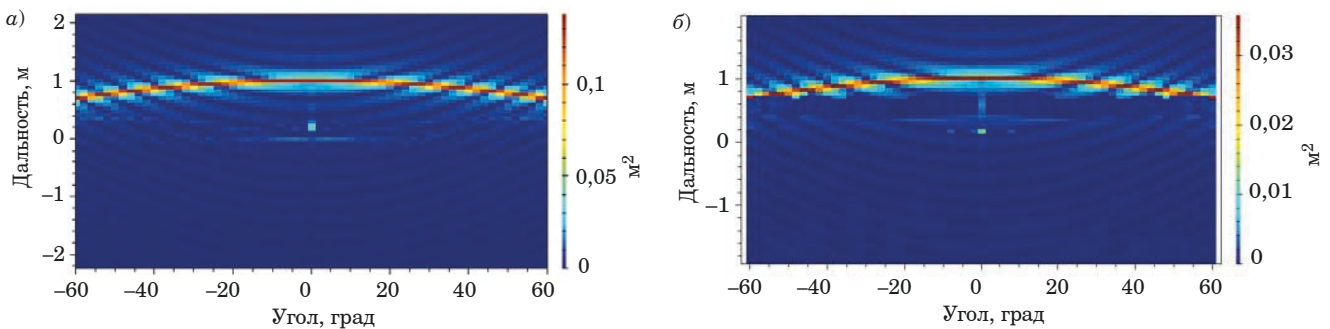
Таким образом, для удаления локального центра рассеяния с изображения необходимо провести следующие операции:

- для каждого угла наблюдения найти максимум локального центра, который необходимо удалить;
- определить период следования боковых составляющих локального центра рассеяния по расстоянию между соседними максимумами;
- определить параметр  $x$  функции  $\sin x/x$ ;
- провести процедуру удаления информации о локальном центре рассеяния путем вычитания результатов расчета из исходных значений.

Для восстановления исходной синопаммы необходимо провести поэлементное сложение значений ЭПР полученных массивов данных.



■ **Рис. 5.** Зависимость ЭПР цилиндра (а) и цилиндра со сферой (б) от дальности с нулевым углом наблюдения на основе рассчитанных данных и в результате аппроксимации боковых составляющих функцией вида  $\sin x/x$   
 ■ **Fig. 5.** The dependence of the EPR of the cylinder (a) and the cylinder with sphere (b) on the range at an observation angle of  $0^\circ$  based on the calculated data and as a result of the approximation of the lateral components by a  $\sin x/x$  function



■ **Рис. 6.** Синограммы исходного (а) и сборного (б) объектов  
 ■ **Fig. 6.** Synograms of the original (a) and composite (b) objects

Синограммы исходного объекта, а также результат соединения отдельных частей с вычетом из изображений локальных центров отражения от разреза представлены на рис. 6, а и б.

Уровень ЭПР сферической части на сборной синограмме соответствует уровню на исходной. На сборной синограмме наблюдаются искажения между передней и задней кромками объекта.

Также немного увеличился уровень ЭПР от задней кромки.

### Заклучение

Рассмотренный подход к построению радиолокационного изображения объекта на основе

его частей позволяет произвести необходимые расчеты в случае, когда средств ЭВМ не хватает, чтобы сделать это для целого объекта, или его параметрами возможно варьировать, а также ускорить расчеты при моделировании объектов с частичным нанесением покрытий, когда есть

несколько вариантов таких покрытий. При выборе места разделения необходимо учитывать взаимное расположение соседних локальных центров рассеяния относительно друг друга, их ЭПР, а также отсутствие переотражений между элементами отдельных частей.

## Литература

1. **Казанцев А. А.** Методика формирования радиолокационных изображений космических объектов на основе комплексирования методов сверхразрешения. *Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения*, 2017, № 3, с. 35–43. EDN: ZTBZZJ
2. **Кутина А. В., Свердлов Б. Г.** Информативные радиолокационные сигнальные признаки БПЛА и птиц. *Научно-технический вестник Поволжья*, 2018, № 7, с. 64–68. EDN: XTLYQH
3. **Кольцов Ю. В.** Автомобильные РЛС на кристалле. *Успехи современной радиоэлектроники*, 2021, т. 75, № 10, с. 48–75. doi:10.18127/j20700784-202110-04, EDN: VCYJFF
4. **Головачев М. В., Биусова В. А., Бондаренко А. В., Кочетов А. В., Панфилов П. С., Парусов В. А., Сарычев В. А.** Автомобильная СКИ РЛС контроля дорожной обстановки в сложных метеоусловиях. *Всероссийские открытые Армандовские чтения: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн*, Муром, 28–30 мая 2019 г. Муром, 2019, с. 434–437. EDN: VVPLKN
5. **Антонов Д. А., Нестеренко О. Е., Оркин В. В.** Моделирование процесса распределения вычислительных ресурсов при автоматизированном обнаружении, распознавании и каталогизировании космических объектов. *Информация и космос*, 2021, № 4, с. 83–87. EDN: MZQKXA
6. **Каменев А. А., Самородов А. А.** Применение баз данных по космической фоноцелевой обстановке для реализации технологии информационной поддержки ОЭС наблюдения в процессе жизненного цикла. *Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения*, 2017, № 2, с. 11–18. EDN: KAIFYS
7. **Васильев О. В., Жуков М. Н., Потапов Р. А., Ситников А. Г.** Особенности создания банка данных радиолокационных эталонных портретов сигналов, отраженных от воздушных целей. *Радиотехника*, 2010, № 7, с. 57–60. EDN: NBGVAX
8. **Погорельский И. В., Луканов А. В., Цветков В. К.** Разработка программного комплекса синтеза и имитации целей для радиолокационных систем малой и средней дальности для систем активной помощи водителю. *Радиолокация и связь – перспективные технологии: сборник трудов XVIII Всероссийской молодежной научно-технической конференции*, Москва, 17 декабря 2020 г. М., Мир науки, 2021, с. 72–76. EDN: DIFFAH
9. **Филиппских Е. Э., Попов А. В., Галкин Ф. А., Лимарев А. Д.** Методика формирования радиолокационных портретов (сигнатур) объектов сложной пространственной конфигурации с проводящей поверхностью. *Информация и космос*, 2022, № 1, с. 20–27. EDN: BUZZZD
10. **Сысоев Д. О., Ершова К. А.** К вопросу оценки метрологических характеристик радиолокационных измерительных комплексов. *Метрологическое обеспечение инновационных технологий: IV Международный форум: сборник статей*, Санкт-Петербург, 04 марта 2022 г. СПб., СПбГУАП, 2022, с. 162. EDN: NIYJMF
11. **Михайлов Д. Б., Чадин А. В., Медведева В. С.** Отдельные вопросы метрологического обеспечения радиолокационных измерительных комплексов. *Радиолокация, навигация, связь: Сборник трудов XXIX Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры радиофизики ВГУ: в 5 т.*, Воронеж, 18–20 апреля 2023 г. Воронеж, 2023, с. 363–366. EDN: VBSKDS
12. **Медведев И. Н.** Метод уменьшения погрешности измерений эффективной площади рассеяния. *Вестник метролога*, 2022, № 3, с. 26–29. EDN: IVYUKG
13. **Разиньков С. Н., Богословский А. В., Борисов Д. Н.** Сравнительный анализ отражательных свойств цилиндров с полной и частичной металлизацией боковых поверхностей. *Воздушно-космические силы. Теория и практика*, 2021, № 19, с. 302–310. doi:10.24412/2500-4352-2021-19-302-310, EDN: STIYWA
14. **Михайлов Д. Б., Медведев И. Н.** Результаты математического моделирования радиолокационных отражателей, применяемых для измерений эффективной площади рассеяния. *Вестник метролога*, 2023, № 4, с. 17–19. EDN: RYTEBF
15. **Тонких А. Н., Кузнецова В. А.** Математическое моделирование радиолокационных изображений, формируемых радиолокационной станцией с синтезированной апертурой антенны. *Радиотехника*, 2025, т. 89, № 4, с. 89–100. doi:10.18127/j00338486-202504-08
16. **Бердышев В. П., Помазуев О. Н., Савельев А. Н., Смолкин М. А.** Алгоритмы построения двумерных радиолокационных изображений воздушных объектов в интересах распознавания. *Вестник Военной академии воздушно-космической обороны*, 2017, № 2, с. 90–101.

17. Патент № 2835989 С1 Российская Федерация, МПК G06Т 15/06. *Способ быстрого имитирования радиолокационных изображений*, А. Г. Прохоров, И. М. Ярцев, А. В. Дмитриев. Заявл. 28.06.2024; опубл. 07.03.2025.; заявитель Акционерное общество «Федеральный научно-производственный центр «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники». EDN: NULNWX

18. Гусаков В. М., Москалев В. М., Невзоров В. И. Обзор подходов к определению угла прохождения электромагнитной волны через границу воздух-диэлектрик с потерями. *СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК*, 2020, № 1(75), с. 12–13.

19. Кобак В. О. *Радиолокационные отражатели*. М., Сов. радио, 1975. 248 с.

UDC 621.396.96

doi:10.31799/1684-8853-2026-2-27-35

EDN: RLYFIA

### Synthesis of a radar range portrait of an object based on modeling the reflective characteristics of its individual parts

V. M. Gusakov<sup>a</sup>, PhD, Tech., Senior Lecturer, orcid.org/0009-0003-3679-3209, St\_325@mail.ru

Yu. F. Matasov<sup>b</sup>, PhD, Tech., Associate Professor, orcid.org/0009-0003-2435-8365

M. E. Ivanov<sup>b</sup>, Assistant Professor, orcid.org/0000-0002-7584-6946

<sup>a</sup>A. F. Mozhaiskii Military Space Academy, 13, Zhdanovskaia Emb., 197198, Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>b</sup>Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, B. Morskaya St., 67, Saint-Petersburg, 190000, Russian Federation

**Introduction:** When creating telematics control systems, information about the observed objects is required, including that within the radar range. The use of electromagnetic modeling for these purposes is associated with extensive computations. For complex objects, this leads to assumptions with which the modeling results do not correspond to the actual characteristics of the object. **Purpose:** To develop a method for obtaining a radar image of an object under study based on the reflective characteristics of its individual components. **Results:** The developed method consists in dividing the initial complex object into parts, radar images of which, after reducing the effective areas of the edges that appear because of adding additional elements, are calculated separately. Next, information about additional elements that appeared after the division is removed from the images, after which the final image of the object is restored from the results of the removal. Dividing the model into two parts makes it possible to parallelize the calculations, as well as to reduce the computational costs when one of them changes, for example, when a dielectric layer is applied to a rounded side. The method allows obtaining a radar range portrait of a test model in the form of a cylinder that is rounded on one side, by dividing it into two parts across the cylinder's axis. **Practical relevance:** The described method for creating a radar range portrait of an object not only saves computing power while creating digital twins of technical products, but can also accelerate the production process of the final product.

**Keywords** – radar image, radar range portrait, effective scattering area, sinogram.

**For citation:** Gusakov V. M., Matasov Yu. F., Ivanov M. E. Synthesis of a radar range portrait of an object based on modeling the reflective characteristics of its individual parts. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2026, no. 2, pp. 27–35 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2026-2-27-35, EDN: RLYFIA

### References

- Kazantsev A. A. Super resolution technique for inverse synthetic aperture radar imaging of space objects. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya*, 2017, no. 3, pp. 35–43 (In Russian). EDN: ZTBZZJ
- Kutina A. V., Sverdlov B. D. Informative radar signal specifiers of UAVs and birds. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*, 2018, no. 7, pp. 64–68 (In Russian). EDN: XTLYQH
- Koltzov Yu. V. Car radars on chip. *Journal Achievements of Modern Radioelectronics*, 2021, vol. 75, no. 10, pp. 48–75 (In Russian). doi:10.18127/j20700784-202110-04, EDN: VCYJFF
- Golovachev M. V., Biyusova V. A., Bondarenko A. V., Kochetov A. V., Panfilov P. S., Parusov V. A., Sarychev V. A. Car ultrashort pulse radar for road conditions control in difficult meteorological conditions. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya, radiolokacii, rasprostraneniya i difrakcii voln* [Proceedings of the All-Russian Open Armed Readings “Modern problems of remote sensing, radar detection, wave propagation, and diffraction”]. Murom, 2019, Murom Institute of Vladimir State University, pp. 434–437 (In Russian). EDN: VVPLKN
- Antonov D. A., Nesterenko O. Ye., Orkin V. V. Modeling the process of distribution of computing resources in the automated detection, recognition and cataloging of space objects. *Information and Space*, 2021, no. 4, pp. 83–87 (In Russian). EDN: MZQKXA
- Kamenev A. A., Samorodov A. A. Space objects database signature application to realization technology for information support optoelectronic system at various stages of life cycle. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya*, 2017, no. 2, pp. 11–18 (In Russian). EDN: KAIFYS
- Vasilyev O. V., Zhukov M. N., Potapov R. A., Sitnikov A. G. Features of creating a database of radar reference portraits of signals reflected from air targets. *Radioengineering*, 2010, no. 7, pp. 57–60 (In Russian). EDN: NBGVAX
- Pogorel'skij I. V., Lukanov A. V., Tsvetkov V. K. Development of a program complex for synthesis and simulation of targets for short-range and medium-range radar systems for active driver assistance systems. *Radiolokaciya i svyaz' – perspektivnye tekhnologii* [Proceedings of the XVIII All-Russian Youth Scientific and Technical Conference “Radar and communication are promising technologies”]. Moscow, 2020, pp. 72–76 (In Russian). EDN: DIFFAH
- Philippskih E. E., Popov A. V., Galkin F. A., Limarev A. D. Technique of complex objects with conductive surface radar portraits (signatures) formation. *Information and Space*, 2022, no. 1, pp. 20–27 (In Russian). EDN: BUZZZD
- Sysoev D. O., Ershova K. A. To the question of evaluation of metrological characteristics of radar measuring complexes. *Sbornik statej IV Mezhdunarodnogo foruma “Metrologicheskoe obespechenie innovacionnykh tekhnologij”* [Collection of articles of the IV International Forum “Metrological sup-

- port of innovative technologies”]. Saint Petersburg, 2022, p. 162 (In Russian). EDN: NIYJMF
11. Mihailov D. B., Chadin A. V., Medvedeva V. S. Separate issues of metrological support of radar measuring complex. *Sbornik trudov XXIX Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 70-letiyu kafedry radiofiziki VGU “Radiolokaciya, navigaciya, svyaz”* [Proceedings of the XXIX International Scientific and Technical Conference “Radar, navigation, communications”]. Voronezh, 2023, pp. 363–366 (In Russian). EDN: VBSKDS
  12. Medvedev I. N. Reduction method of measurement error of the scattering cross-section of radar measurement systems. *Vestnik metrologa*, 2022, no. 3, pp. 26–29 (In Russian). EDN: IVYUKG
  13. Razinkov S. N., Bogoslovskiy A. V., Borisov D. N. Comparative analysis of the cylinders reflective properties with full and partial metallization of the side surfaces. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2021, no. 19, pp. 302–310 (In Russian). doi:10.24412/2500-4352-2021-19-302-310, EDN: STIYWA
  14. Mikhaylov D. B., Medvedev I. N. Determination of metrological characteristics of measuring instruments of geometric leveling at the places of their operation. *Vestnik metrologa*, 2023, no. 4, pp. 17–19 (In Russian). EDN: RYTEBF
  15. Tonkikh A. N., Kuznetsova V. A. Mathematical modeling of radar images formed by synthetic-aperture radar. *Radioengineering*, 2025, vol. 89, no. 4, pp. 89–100 (In Russian). doi:10.18127/j00338486-202504-08, EDN: WOTEQX
  16. Berdyshev V. P., Pomazuev O. N., Savel`ev A. N., Smolkin M. A. Algorithms for constructing two-dimensional radar images of air objects for recognition purposes. *Vestnik VoЕННОj akademii vozdushno-kosmicheskoy oborony*, 2017, no. 2, pp. 90–101 (In Russian). EDN: YMCCWP
  17. Prokhorov A. G., et al. *Sposob bystrogo imitirovaniya radiolokacionnyh izobrazhenij* [Method for fast imitation of radar images]. Pat. RU 2835989 C1, 2024. EDN: NULNWX
  18. Gusakov V. M., Moskalev V. M., Nevzorov V. I. Overview of approaches to determining the angle of passage of an electromagnetic wave through an air-dielectric interface with losses. *Trudy ezhegodnoj NTK “Rossijskoe nauchno-tehnicheskoe obshchestvo radiotekhniki, elektroniki i svyazi”* [Proceedings of the annual Scientific and Technical Conference “Russian scientific and technical society of radio engineering, electronics and communication”]. Saint Petersburg, 2020, no. 1(75), pp. 12–13 (In Russian).
  19. Kobak V. O. *Radiolokacionnye otrazhateli* [Radar reflectors]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1975. 248 p. (In Russian).

### УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Научная электронная библиотека (НЭБ) продолжает работу по реализации проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы зарегистрируетесь на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющих в базе данных НЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.