

УДК 621.396

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ РАДИОЛОКАТОРА UHF-ДИАПАЗОНА НА БЕСПИЛОТНОМ ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ

Рогачева Я.Д., Нгуен Хоанг Хиеп, гр. 141301

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Козлов С.В. – д-р. техн. наук, профессор

Аннотация. Приведено описание компьютерной модели формирования радиолокационного изображения земной поверхности для радиолокатора с синтезированием апертуры, применяемого для гуманитарного разминирования. Приведены примеры моделирования.

Ключевые слова. Компьютерная модель, радиолокатор с синтезированием апертуры, беспилотный летательный аппарат, радиолокационное изображение, метод *BackProjection*, частотная интерполяция.

Введение

В настоящее время актуальным является создание технических средств для гуманитарного разминирования [1]. Одним из вариантов решения этой задачи является создание радиолокатора с синтезированной апертурой UHF-диапазона, размещаемого на беспилотном летательном аппарате [3,5]. В [2] приведено описание компьютерной модели формирования траекторного сигнала (ТС) для такого радиолокатора.

Цель статьи – изложение состава и особенностей реализации компьютерной модели построения РЛИ земной поверхности для радиолокатора UHF-диапазона с синтезированием апертуры, применяемого для гуманитарного разминирования.

Эта компьютерная модель совместно с [2] образуют программный комплекс, который используется для определения потенциальных возможностей радиолокатора UHF-диапазона с синтезированием апертуры в различных условиях функционирования.

Краткое описание компьютерной модели формирования радиолокационного изображения земной поверхности для радиолокатора UHF-диапазона на беспилотном летательном аппарате

Структурная схема компьютерной модели приведена на рисунке 1. Компьютерная модель предназначена для построения РЛИ местности и расположенных на ней металлических объектов. На основе этого проводится выявление возможности обнаружения металлических объектов на разных типах земной поверхности. Компьютерная модель основана на наиболее точном методе построения РЛИ *BackProjection* [3-5] и обеспечивает визуализацию всех процессов обработки.

Предполагается что траекторный сигнал содержится в матрице S размером M_1 на K_{tr} , где M_1 – число отсчетов на периоде повторения, K_{tr} – число периодов повторения.

Алгоритм построения РЛИ следующий.

Вычисляется число отсчетов на периоде $M_2 = 2^{\lceil \log_2 M_1 \rceil} \cdot K_{resample}$, где $K_{resample}$ – коэффициент передискретизации (частотной интерполяции).

Далее умножаем принятый сигнал по столбцам на оконную функцию по продольной дальности (проводим весовую обработку) $S_{m,k} = S_{m,k} \cdot w_m$ $m = \overline{1, M_1}$; $k = \overline{1, K_{tr}}$, и дополняем нулями $S_{m,k} = 0$ $m = \overline{M_1 + 1, M_2}$. Дополнение нулями соответствует частотной интерполяции, которая приводит к увеличению детальности радиолокационного изображения и отношения сигнал/шум.

К полученному массиву применяем быстрое преобразование Фурье «по столбцам»
 $g_k = FFT(y_k)$, $y_k = (\hat{S}_{1,k}, \dots, \hat{S}_{M_2,k})^T = \hat{S}_{1,M_2,k}$, $g_k = (\hat{G}_{1,k}, \dots, \hat{G}_{M_2,k})^T$.

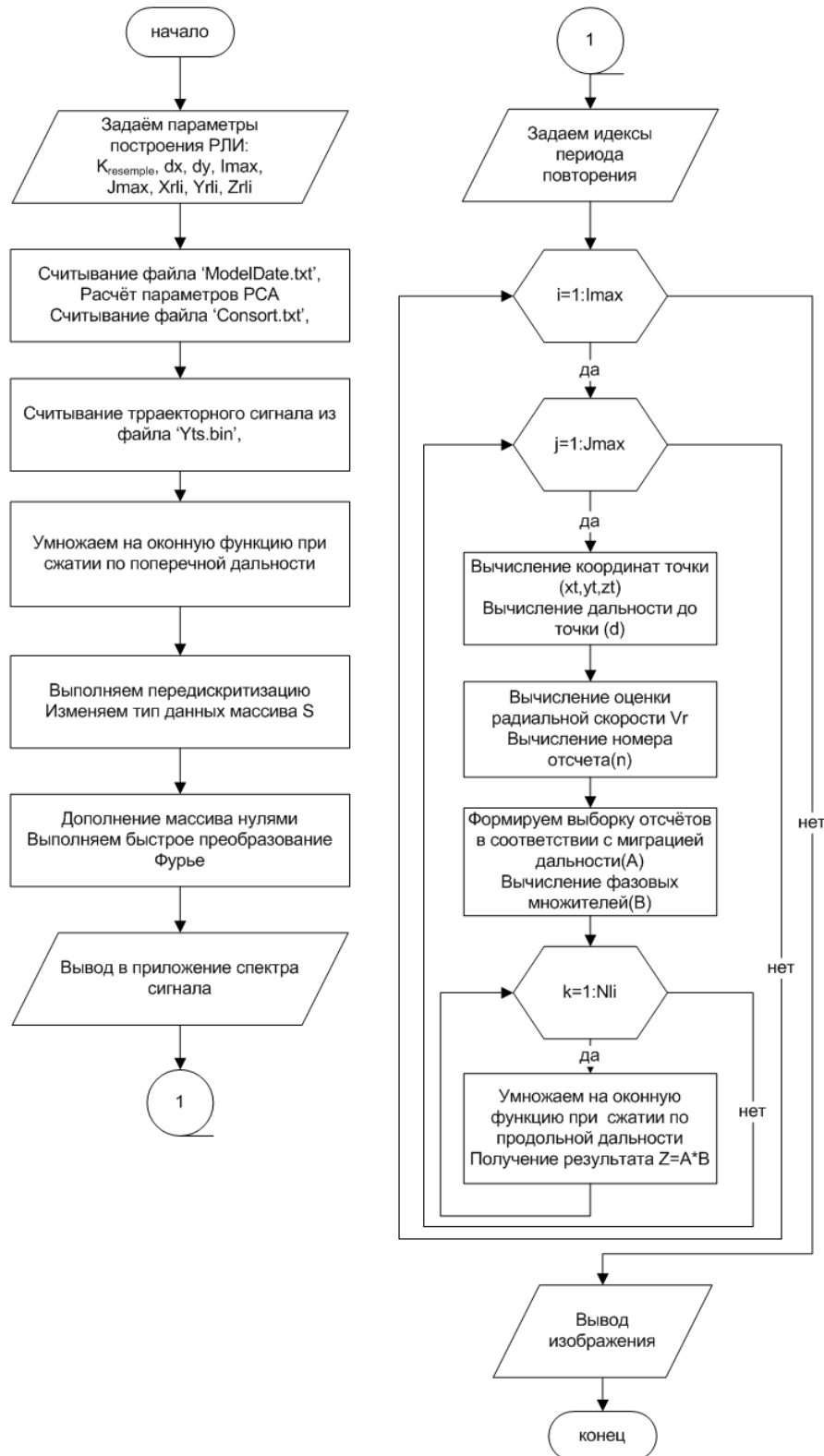


Рисунок 1 – Структурная схема компьютерной модели

Далее для каждого пикселя формируемого радиолокационного изображения с координатами $xt_i = X_{rli} + \left(i - 1 - \frac{I_{max} - 1}{2}\right) dx$; $yt_j = Y_{rli} + \left(j - 1 - \frac{J_{max} - 1}{2}\right) dy$, $i = \overline{1, I_{max}}$; $j = \overline{1, J_{max}}$, где X_{rli}, Y_{rli} - координаты центра РЛИ; dx, dy - дискретность построения РЛИ; I_{max}, J_{max} - число пикселей на РЛИ по осям, вычисляются дальности между РСА и точкой для все периодов повторения

$$d_k = \sqrt{(X_k^{\text{pca}} - xt)^2 + (Y_k^{\text{pca}} - yt)^2 + (Z_k^{\text{pca}} - zt)^2}, \quad (1)$$

где $X_k^{\text{pca}}, Y_k^{\text{pca}}, Z_k^{\text{pca}}$ - координаты PCA в k -м периоде повторения (данные из консорт-файла к траекторному сигналу).

Вычисляется оценка радиальной скорости движения PCA относительно заданной точки земной поверхности $V_{rk} = \frac{d_k - d_{k-1}}{T_r}$.

Вычисляем номера отсчетов внутрипериодных спектров, где находится максимум отклика отраженного сигнала от заданной точки в k -м периоде повторения

$$n_k = \left(\frac{2 \cdot d_k}{c} \frac{V_f}{F_s} - \frac{V_{rk}}{\lambda F_s} \right) \cdot M_2 + 1, \quad (2)$$

где $V_f = \frac{\Delta f_0}{T_r}$ - скорость изменения частоты в PCA; F_s - частота дискретизации; λ - длина волны и формируем выборку отсчетов в соответствии с миграцией дальности

$$\dot{z}_{i,j} = \dot{z}_{n_k, n_k}. \quad (3)$$

Вычисляем фазовые множители для компенсации закона изменения фазы $\dot{z}_{i,j} = e^{-i \frac{4\pi}{\lambda} d_k}$ и выполняем рассчитываем значения i, j -пикселя для всех комплексных радиолокационных изображений, которые можно сформировать по заданной выборке:

$$\dot{z}_{i,j} = \sum_{k=k_1(m)}^{k_2(m)} \dot{z}_{n_k, n_k} \cdot e^{-i \frac{4\pi}{\lambda} d_k} \cdot w_k, \quad i = (m-1) \left[\frac{\Delta T_c}{T_r} \right] + 1; \quad k_2(m) = k_1(m) + \left[\frac{T_c}{T_r} \right] - 1, \quad (4)$$

где T_c - время синтезирования, ΔT_c - интервал между участками синтезирования; $m = 1, \left[\frac{K_{tr} T_r - T_c}{\Delta T_c} \right]$ - индексы возможных интервалов синтезирования; w_k - отсчеты весовой функции при сжатии по поперечной дальности.

Полученные комплексные РЛИ $\dot{z}_{i,j}$ записываются в файл и выводятся на монитор в 3D-виде и в градациях серого. Кроме того, реализуется некогерентное накопление РЛИ $Z_\Sigma = \sum_m \left| \dot{z}_{i,j} \right|^2$.

Реализация компьютерной модели и примеры моделирования

Компьютерная модель реализована в MatLab. Вид главной вкладки интерфейса компьютерной модели представлен на рисунке 2.

С использованием главной вкладки пользователь выбирает файлы исходных данных с траекторным сигналом, координатами PCA, параметрами траекторного сигнала и задает параметры построения радиолокационных изображений.

Результат построения выводится на вкладки «3D РЛИ» (рисунок 3), «Яростное РЛИ» (рисунок 4) и «Результат НН» (рисунок 5, результат суммирования квадратом модулей по всем РЛИ). На рисунках 3-5 приведен пример построения РЛИ для случая наличия трех металлических объектов на фоне шероховатой земной поверхности.

На вкладке «Промежуточные» (рисунок 6) проводится визуализация входного сигнала и сигнала после сжатия по дальности, то есть матрицы отсчетов спектра.

Главная

3D РЛИ

Яростное

Результат НН

Промежуточные

Загрузить

Consort1111.txt

Время синтезирования, с

1.0

Сдвиг между РЛИ по времени, с

1.0

координаты центра кадра

по X:

70

по Y:

0

по Z:

0

Размер РЛИ по x, м

50

пиксель, м

0.25

Размер РЛИ по y, м

50

пиксель, м

0.25

коэффициент передискретизации

1

тип оконной функции по наклонной дальности

отсутствует

бета для функции кайзера

2.5

тип оконной функции по поперечной дальности

отсутствует

бета для функции кайзера

2.5

Старт

Данные траекторного сигнала

Исходные данные по PCA:

Начальные координаты: X=0, Y=-20, Z=100

Конечные координаты: X=2.4481e-15, Y=19.98, Z=100

Число периодов повторения=2000

Параметры и ход моделирования

Рисунок 2 – Вид главной вкладки интерфейса компьютерной модели

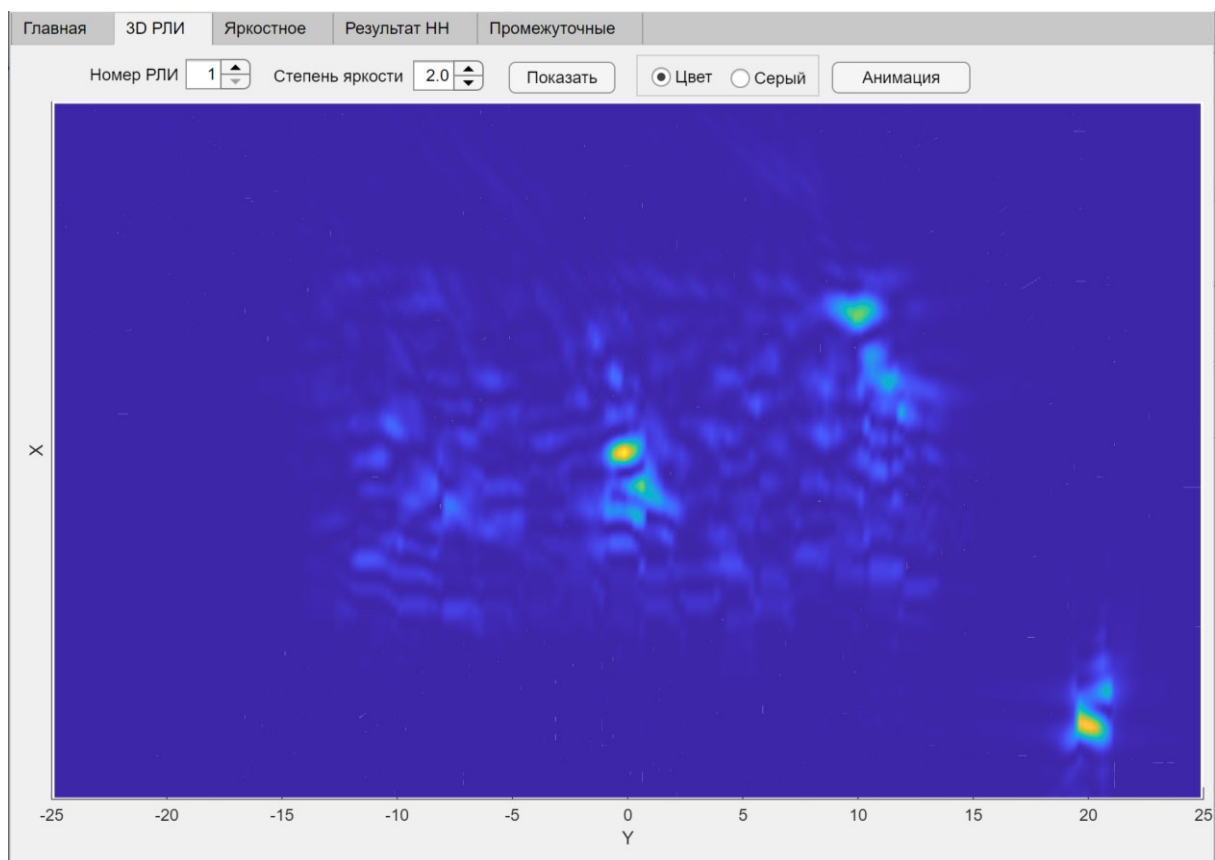


Рисунок 3 – Вид вкладки «3D РЛИ»

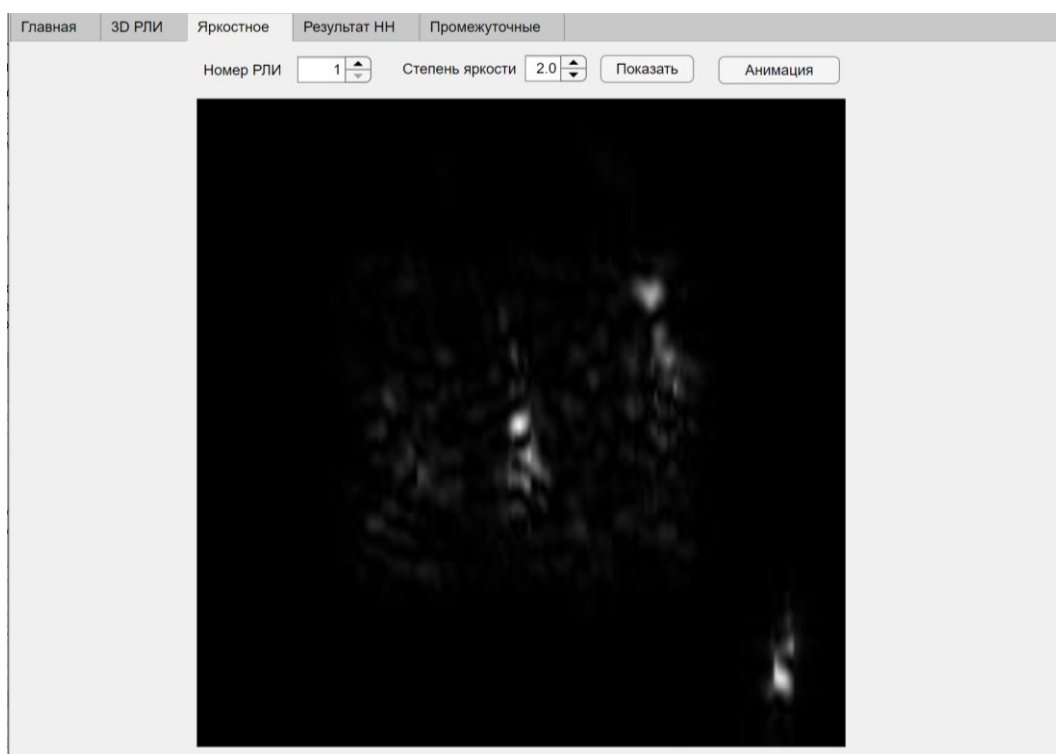


Рисунок 4 – Вид вкладки «Яростное»

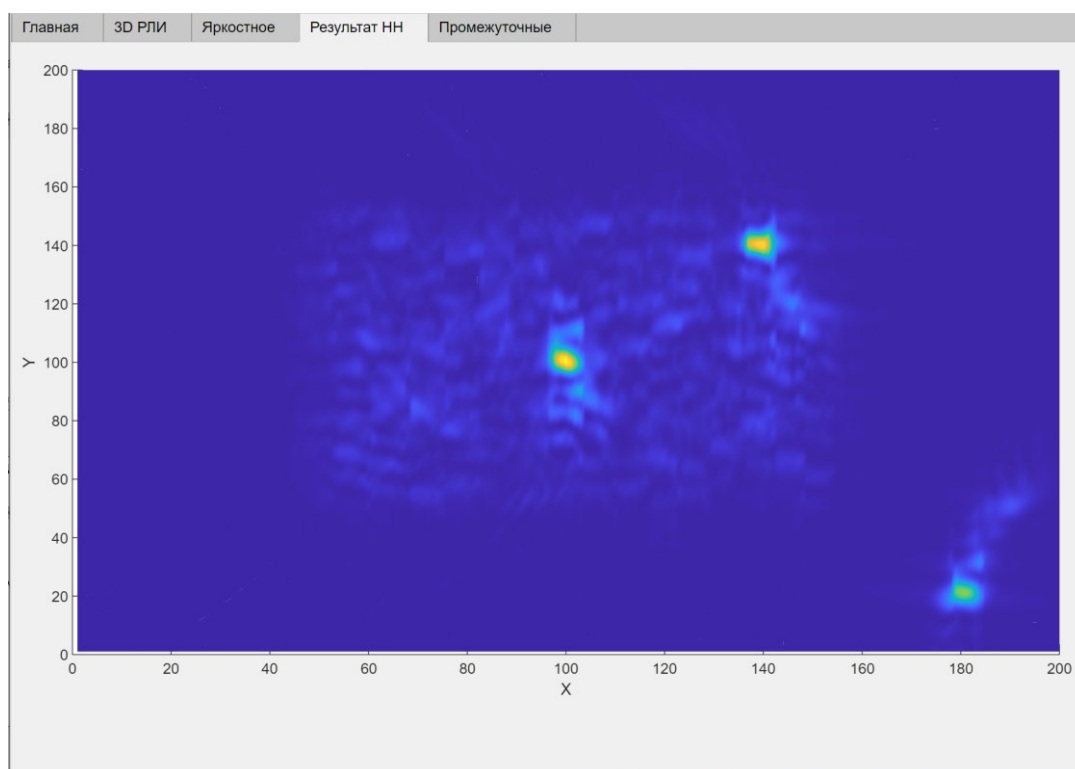


Рисунок 5 – Вид вкладки «Результат НН»

При выводе всех амплитудных радиолокационных изображений на монитор используется нормировка изображения с представлением яркости $B_{i,j}$ пикселя вида $B_{i,j} = \left| \frac{\dot{z}_{i,j}}{Z_{\max}} \right|$, где $Z_{\max} = \max_{i,j} |\dot{z}_{i,j}|$; $\gamma_b = 0, 1 \dots 4$ – параметр, определяющий контрастность РЛИ. При малых значениях указанного параметра изображение будет максимально светлым с малым контрастом между

объектами. При больших значениях контраста изображение будет максимально темным с подчеркиванием наиболее сильно отражающих объектов.

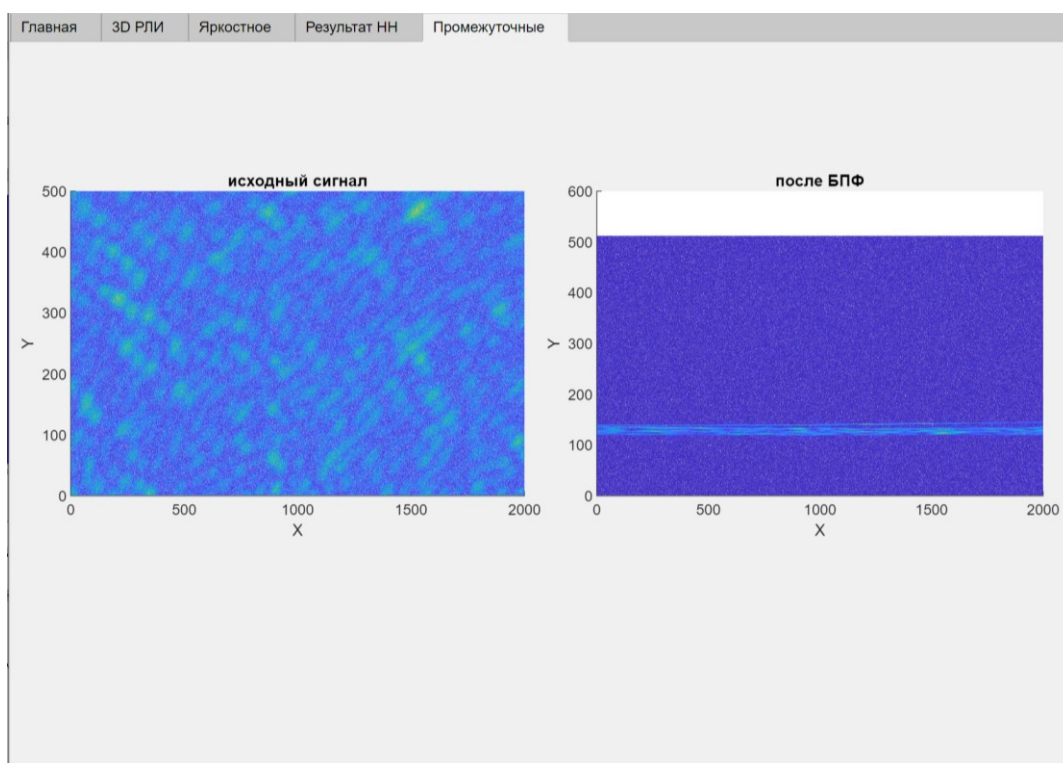


Рисунок 6 – Вид вкладки интерфейса компьютерной модели для визуализации промежуточных результатов

Список использованных источников:

1. *International Standards for Humanitarian Mine Clearance Operations.* – UN-1996, – 75 p.
2. Нгуен, Х.Х. Компьютерная модель формирования траекторного сигнала для радиолокатора UHF-диапазона на беспилотном летательном аппарате / Нгуен Хоанг Хуеп, Я.Д. Рогачева // В наст. сборнике.
3. *High Resolution Imaging with SAR using Automotive Millimeter Wave Radars/Oskar Leander, Victor Pettersson // Chalmers University of Technology 2021 – P 18-20.*
4. Richards, M. A. *Fundamentals of Radar Signal Processing.* 2nd ed., McGraw-Hill, 2014. – 672 p.
5. Купряшкин И.Ф., Лихачев В.П., Рязанцев Л.Б. *Малогабаритные РЛС с непрерывным частотно-модулированным излучением.* – М.: Радиотехника, 2020. – 280 с.

UDC 621.396

COMPUTER SIMULATION MODEL FOR GENERATING RADAR IMAGES OF THE EARTH'S SURFACE USING A UHF RADAR INSTALLED ON AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Rahachova Y.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

Kozlov S.V. – Dr of Technical Sciences, Professor

Annotation. The article describes a computer model for synthetic aperture radar (SAR) imaging of the Earth's surface designed for humanitarian demining applications. Examples of modeling are given.

Keywords. Computer model, synthetic aperture radar, unmanned aerial vehicle, radar image, BackProjection method, frequency interpolation.