



**Двадцатая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»**

ктн, В.В. Зайцев; К.С. Кудинов

**Метод расчета функции неопределенности космического радиолокатора с
синтезированной апертурой антенны с использованием фотограмметрической
модели съемки**





Применение современных режимов РЛ съемки радиолокатором с синтезированной апертурой антенны и улучшение качества получаемых радиолокационных изображений достигается при компенсации фазовых искажений.

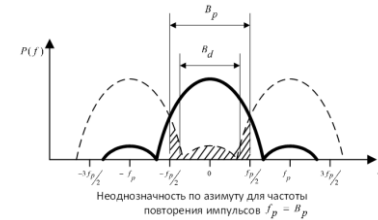
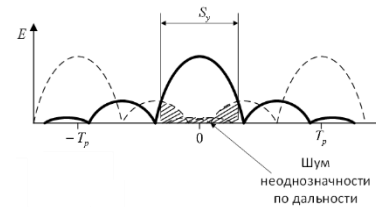
При использовании РСА существуют ограничения по выбору зоны захвата, связанные с необходимостью обеспечения однозначного воспроизведение спектра доплеровских частот принимаемого сигнала с учетом произвольного отклонения и антенны в современных режимах наблюдения. Для оценки отношения уровня неоднозначных отражений к уровню полезного сигнала производится расчет функции неопределенности РСА. При этом необходимо учесть произвольную траекторию движения КА и его непостоянную ориентацию в современных режимах наблюдения.

Обычно расчет выполняется без учета основных искажающих факторов, влияющих на качество получаемого цифрового РЛИ.

В данной работе предлагается выполнять расчеты с использованием фотограмметрической модели радиолокационной съемки.

Интенсивность отраженного сигнала для частоты и задержки отраженных сигналов представляется как известная функция, описывающая пространственное распределение амплитуды сигнала в соответствии с формой диаграммы направленности антенны и эффективной поверхности рассеяния цели в зависимости от углов ориентации антенны. При планировании съемки интересующего района космическим РСА задаются требуемым уровнем ложных сигналов от неоднозначности в зависимости от реализуемого соотношения сигнал/шум.

$$\psi(f, \tau) = \frac{\sum_{\substack{m, n = -\infty \\ m, n \neq 0}}^{\infty} \int_{-B_p/2}^{B_p/2} G^2[\gamma(f + mf_p, \tau + n/f_p), \lambda'(f + mf_p, \tau + n/f_p)] [\sum(\varphi') / R^4] df}{\int_{-B_p/2}^{B_p/2} G^2[\gamma(f, \tau), \lambda'(f, \tau)] [\sum(\varphi') / R^4] df}$$



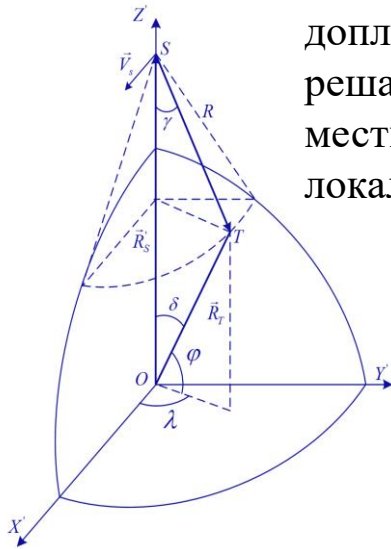
где m, n - целые числа, $G^2(f, \tau)$ - функция, описывающая пространственное распределение амплитуды сигнала в соответствии с формой диаграммы направленности антенны, $\sum(\varphi')$ - ЭПР цели в зависимости от угла падения. Член суммы, соответствующий $m = n = 0$ - полезный сигнал, все остальные члены - неоднозначности.

Угол падения φ' зависит от угла обзора

$$\varphi' = \arccos \frac{R_S \sin \gamma}{R_T}, \quad \gamma = \arccos \left[\frac{(R^2 + R_S^2 - R_T^2)}{(2R_{ij}R_S)} \right], \quad \varphi'_{ij} = \arccos \frac{R_S \sin \gamma_{ij}}{R_T}$$

При известных координатах района наблюдения при помощи фотограмметрической модели РЛ съемки можно рассчитать допустимые углы отклонения вектора наклонной дальности, допустимые границы частоты повторения импульсов, ширину спектра частот отраженных сигналов.

В качестве фотограмметрической модели съемки с использованием РСА используется уравнение земного эллипсоида, наклонной дальности и доплеровской частоты отраженного сигнала. Система из трех уравнений решается аналитически в прямоугольной гринвичской СК при допуске о местной сферичности Земли в районе наблюдаемой сцены с известным локальным радиусом относительно искомых углов :

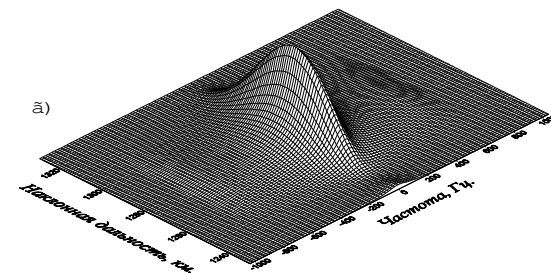
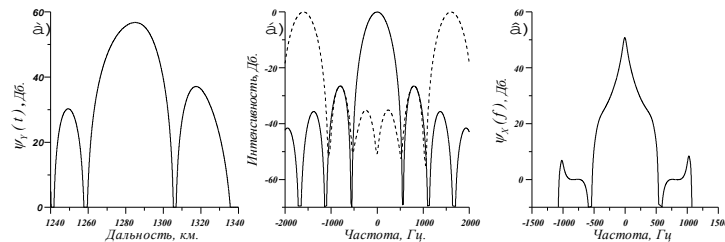
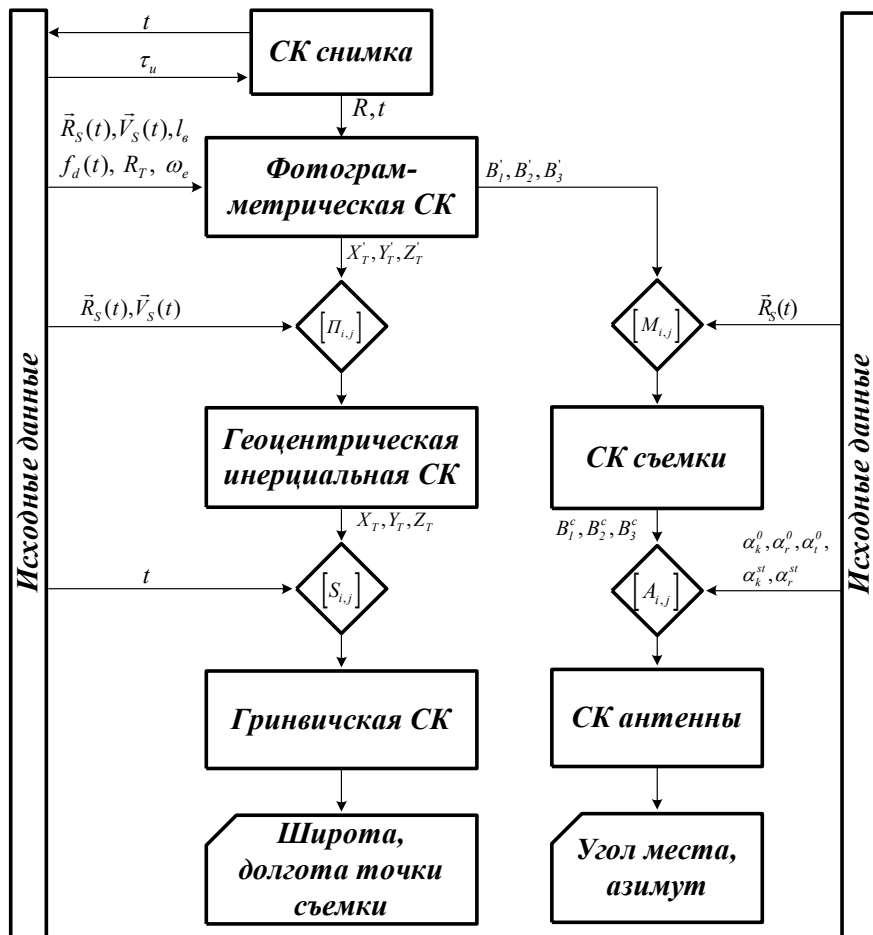


$$\begin{cases} \frac{X_T^2 + Y_T^2}{(R_e + h)^2} + \frac{Z_T^2}{R_p^2} = 1 \\ \frac{f_d l_e R}{2} = (\vec{R}_S - \vec{R}_T) \cdot (\vec{V}_S - \vec{V}_T) \\ (X_S - X_T)^2 + (Y_S - Y_T)^2 + (Z_S - Z_T)^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2 \end{cases}$$

$$X_T' = k_1^t R_T; Y_T' = k_2^t R_T; Z_T' = k_3^t R_T,$$

$$\text{где } k_1^t = \cos(\varphi') \cos(\lambda'), k_2^t = \cos(\varphi') \sin(\lambda'), k_3^t = \sin(\varphi'),$$

φ', λ' - углы в сферической системе координат.





Предложенная модель расчета функции неопределенности, в отличие от известных, обеспечивает полный учет факторов, влияющих на формирования отраженного сигнала, специфики орбитального движения носителя, что позволило сформировать математическую модель определения углов ориентации наклонной дальности

С использованием соотношений можно решить задачу по определению оптимальных параметров и режимов съемки для достижения максимальной обзорности системы при сохранении информативных свойств получаемых изображений провести оценку возможностей системы при ее проектировании.

Литература:

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы.
2. Зайцев В.В. Расчет длительности наблюдения при радиолокационной съемке // Известия ВУЗов. Приборостроение. 2022. Т. 65. № 9. С. 685–695.