

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

**МЕТОД РАСЧЕТА ДЛИТЕЛЬНОСТИ СЪЕМКИ ЗАДАННОГО РАЙОНА  
В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

В.В. Зайцев, ктн  
А.Н. Григорьев, дтн  
Г.Г. Дмитриков, ктн  
К.С. Заморовский

Современные системы дистанционного зондирования Земли, как оптического, так и радиолокационного диапазонов используют многорежимные схемы наблюдения.

### **РСА:**

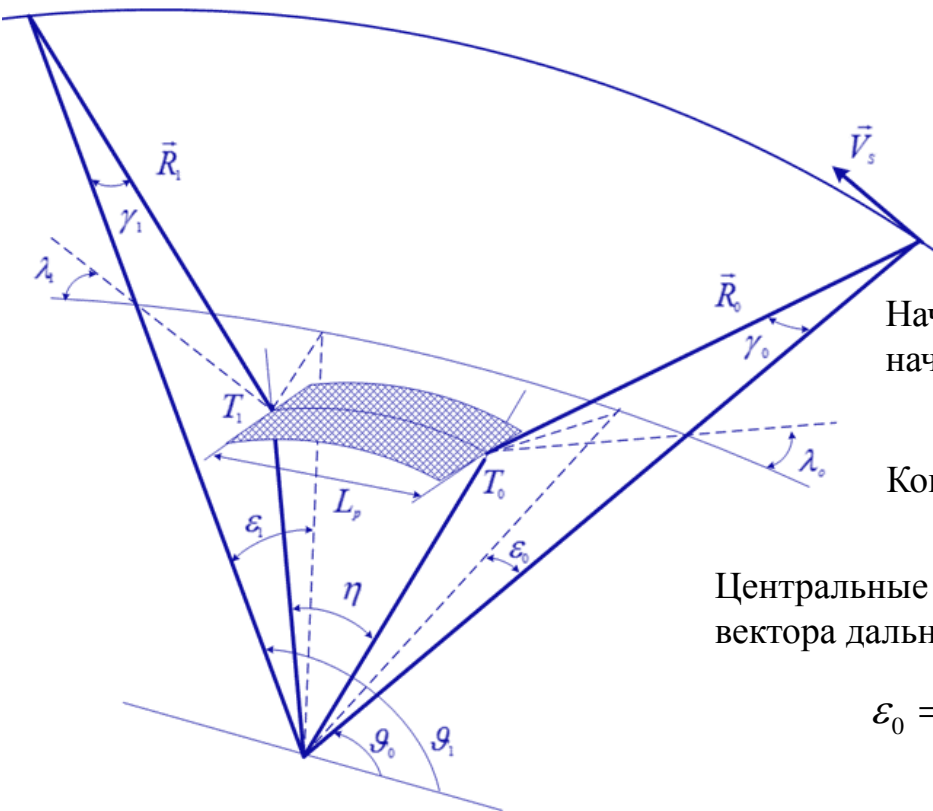
- 1) маршрутная съемка (Stripmap),
- 2) детальный прожекторный режим (Spotlight),
- 3) обзорный режим (ScanSAR),
- 4) интерферометрическая съемка на текущем и соседних витках.

### **Системы видимого диапазона:**

- 1) маршрутная съемка,
- 2) тангажное замедление,
- 3) азимутальная съемка с программным сканированием,
- 4) стереосъемка на текущем и соседних витках,
- 5) видеосъемка.

Важной задачей при эксплуатации КА является выбор режима съемки для наблюдения конкретного района при планировании включений съемочной аппаратуры, разработки программ управления и наведения КА с сохранением требуемого качества получаемых системой изображений при угловых отклонениях и вращениях КА.

Анализ существующих работ показывает отсутствие решения задачи по расчету временных параметров съемки в различных режимах на основе единой модели.



$$t^s = \int_{\vartheta_0}^{\vartheta_1} \frac{1}{\omega_s} d\vartheta = p^{3/2} \mu^{-1/2} \int_{\vartheta_0}^{\vartheta_1} (1 + e \cos \vartheta)^{-2} d\vartheta$$

$$t^s = p^{3/2} \mu^{-1/2} \left[ \left\{ e \sin \vartheta / (e^2 - 1)(1 + e \cos \vartheta) + 2(1 - e^2)^{-3/2} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \arctan((1 - e)^{1/2} (1 + e)^{-1/2} \tan(\vartheta / 2)) \right\} \right]_{\vartheta_0}^{\vartheta_1}$$

Начальную истинную аномалию определим через начальную высоту съемки:

$$\vartheta_0 = \arccos((p - R_3 - H_0) / e(R_3 + H_0))$$

Конечную истинную аномалию определим из уравнения:

$$\vartheta_1 - \vartheta_0 = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + L_p / R_3$$

Центральные углы  $\varepsilon_0, \varepsilon_1$  и рассчитываются через углы ориентации вектора дальности:

$$\varepsilon_0 = \arcsin \left[ \frac{R_0 \sin \gamma_0 \cos \lambda_0}{R_3} \right] \quad \varepsilon_1 = \arcsin \left[ \frac{R_1 \sin \gamma_1 \cos \lambda_1}{R_3} \right]$$

Углы  $\gamma, \lambda$  зависят от требований к качеству получаемых изображений

Связь координат точек местности и РЛИ:

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

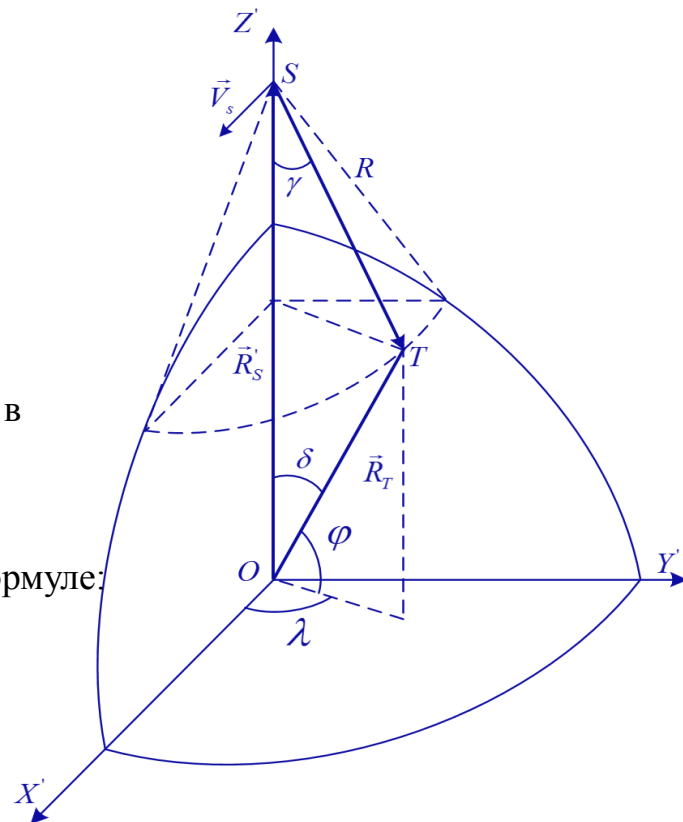
В заданный момент времени положение КА и его движение описываются в ИСК радиус-вектором и вектором скорости:

$$\vec{R}_S = (X_S, Y_S, Z_S), \vec{V}_S = (V_{X_S}, V_{Y_S}, V_{Z_S}).$$

Составляющие вектора скорости объекта определяются по следующей формуле:

$$\vec{V}_T(V_{X_T}, V_{Y_T}, V_{Z_T}) = \begin{bmatrix} -Y_T \omega_e \\ X_T \omega_e \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Система уравнений решается численно, модель нельзя использовать для расчетов длительности наблюдения.



Вводим допущение о локальной сферичности Земли в районе наблюдения с известным для данной широты средним радиусом кривизны  $R_T$ .

Система уравнений преобразуется к квадратному уравнению, которое решается относительно неизвестного  $\lambda$ .

$$\cos^2(\lambda)(N_1^2 + N_2^2) + \cos(\lambda)(2N_1N_0) + (N_0^2 - N_2^2) = 0$$

где:

$$N_0 = R_T \sin(\phi)[(-V_{S_x} - \omega_e Y_S)n_{13} - (V_{S_y} - \omega_e X_S)n_{23} - V_{S_z}n_{33}] + \frac{l_{\%o} f_d R}{2} + X_S V_{S_x} + Y_S V_{S_y} + Z_S V_{S_z},$$

$$N_1 = R_T \cos(\phi)[(-V_{S_x} - \omega_e Y_S)n_{11} - (V_{S_y} - \omega_e X_S)n_{21} - V_{S_z}n_{31}], \quad N_2 = R_T \cos(\phi)[(-V_{S_x} - \omega_e Y_S)n_{12} - (V_{S_y} - \omega_e X_S)n_{22} - V_{S_z}n_{32}],$$

$$\phi = \arccos \frac{R_S \sin \gamma}{R_T}.$$

Матрица перехода к барицентрической СК из ИСК:

$$[n_{i,j}] = \begin{bmatrix} \frac{1}{CR_S} (C_2 Z_S - C_3 Y_S) & \frac{C_1}{C} & \frac{X_S}{R_S} \\ \frac{1}{CR_S} (C_3 X_S - C_1 Z_S) & \frac{C_2}{C} & \frac{Y_S}{R_S} \\ \frac{1}{CR_S} (C_1 Y_S - C_2 X_S) & \frac{C_3}{C} & \frac{Z_S}{R_S} \end{bmatrix}$$

Компоненты вектора площадей:

$$C_1 = Y_S V_{S_z} - Z_S V_{S_y};$$

$$C_2 = Z_S V_{S_x} - X_S V_{S_z};$$

$$C_3 = X_S V_{S_y} - Y_S V_{S_x};$$

$$C = \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2}$$

Направление луча визирования известно, координаты на поверхности Земли находятся для пересечения прямой (заданной направляющими косинусами) с земным эллипсоидом.

$$\begin{pmatrix} c \\ d \\ l \end{pmatrix} = |A| \cdot |B| \cdot |C| \begin{pmatrix} c' \\ d' \\ l' \end{pmatrix}$$

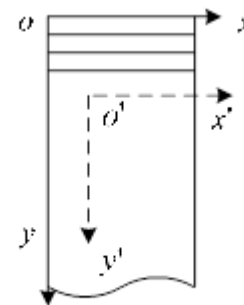
Система решается как квадратное уравнение относительно R

$$\frac{(X_s + Rc)^2 + (Y_s + Rd)^2}{(R_e + h)^2} + \frac{(Z_s + Rl)^2}{R_p^2} = 1$$

Координаты точки на поверхности находятся из соотношений

$$X_T = X_s + Rc, Y_T = Y_s + Rd, Z_T = Z_s + Rl$$

$$\begin{cases} \frac{X_T^2 + Y_T^2}{(R_e + h)^2} + \frac{Z_T^2}{R_p^2} = 1, \\ \frac{X_T - X_s}{c} = \frac{Y_T - Y_s}{d} = \frac{Z_T - Z_s}{l} = R. \end{cases}$$



1. Данные фотограмметрические модели позволяют найти предельные углы визирования, определяющие границы полосы захвата в полосе обзора для заданного режима съемки и детальности, а затем использовать их для расчетов длительности контакта КА с районом наблюдения и частных показателей системы ДЗЗ.
2. С использованием соотношений можно решить обратную 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.