

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТА НАБЛЮДЕНИЯ В ЗОНЕ ВИДИМОСТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Для решения задачи выбора орбитальных параметров космических систем наблюдения (КСН) необходимо знать время нахождения объекта наблюдения (ОН) в зоне видимости космического аппарата (КА).

Для удобства дальнейших расчетов условия видимости ОН космическим аппаратом запишем относительно ОН. Рассмотрим конус видимости, вершина которого располагается в геометрическом центре ОН, ось проходит через центр Земли, а угол полураствора γ равен углу обзора аппаратуры наблюдения (АН) (рис. 1). В первом приближении будем считать орбиту КА круговой. В конусе видимости выделим зону видимости, которая характеризуется основанием конуса, расположенным на расстоянии H от вершины, равным высоте орбиты КА.

Следствие относительной малости зоны видимости при построении модели принимаем допущение, что радиус орбиты в точке входа в зону, на широте ОН и в точке выхода из зоны одинаковы (рис. 1). В этом случае зона видимости с учетом максимального угла разворота оптической оси АН в любом направлении от надира представляет собой сферическую поверхность.

Максимальное расстояние (по широте) от ОН, на котором орбита будет пересекать зону видимости (рис. 2), определится соотношением

$$c = \frac{S}{\sin i} - S,$$

где c — максимально допустимое расстояние (по широте) от границы зоны видимости, на котором обеспечивается попадание КА в зону видимости, S — радиус зоны видимости.

Пересечение орбиты и границы зоны видимости может быть двух видов. В первом случае орбита пересекает широту ОН внутри зоны видимости (рис. 3), а во втором случае орбита пересекает широту ОН вне зоны видимости (рис. 4).

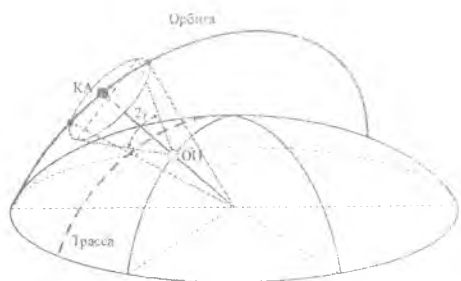


Рис. 1. Зона видимости ОН с КА и пересечение ее орбитой КА

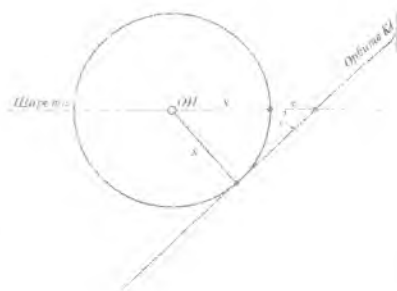


Рис. 2. Предельный случай входа КА в зону видимости

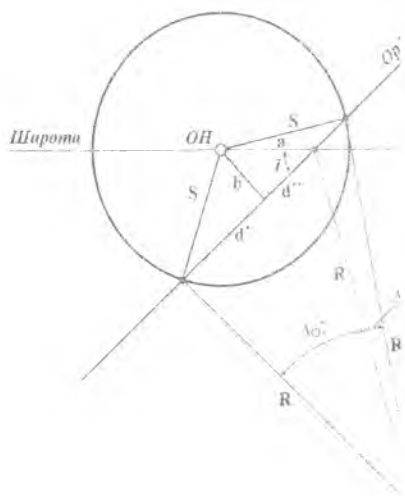


Рис. 3. Определение точек входа и выхода в зону видимости для случая 1

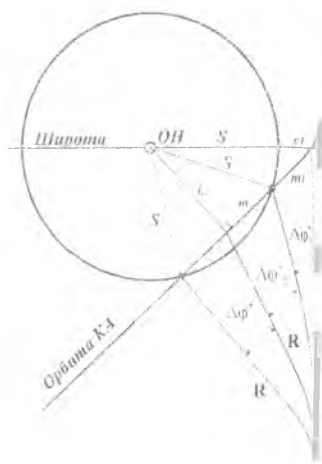


Рис. 4. Определение точек входа и выхода в зону видимости для случая 2

Рассмотрим первый случай. Угловой размер хорды, образованной пересечением линии границы зоны видимости и орбиты, равен

$$\Delta\varphi^* = \Delta\varphi_1^* + \Delta\varphi_2^*$$

Используя теорему косинусов, получим

$$\cos \Delta\varphi_1^* = 1 - \frac{(d^* + d^{**})^2}{2R^2}, \quad \cos \Delta\varphi_2^* = 1 - \frac{(d^* - d^{**})^2}{2R^2},$$

где $d^* = \sqrt{S^2 - b^2}$; $d^{**} = a \cos i$; $b = a \sin i$; $a = L_{OH} - L_1$; L_{OH} – долгота ОН; L_1 – текущая долгота КА при выходе на широту ОН.

Рассмотрим второй случай.

Угловой размер хорды, образованной пересечением линии границы зоны видимости и орбиты, определится из выражения

$$\Delta\varphi^* = \Delta\varphi_1^* + \Delta\varphi_2^*,$$

$$\text{где } \cos\Delta\varphi_1^* = 1 - \frac{m^2}{2R^2}, \quad \cos\Delta\varphi_2^* = 1 - \frac{m^2}{2R^2}.$$

Для определения времени входа и выхода КА из зоны наблюдения определяем величины m_1 и $\Delta\varphi_1^*$. Руководствуясь геометрическими соображениями, получим (рис. 4):

$$m_1 = (S + c_1) \left(\cos i - \frac{\sqrt{S^2 - [(S + c_1) \cos(90 - i)]^2}}{S + c_1} \right),$$

$$\cos\Delta\varphi_1^* = 1 - \frac{m_1^2}{2R^2}.$$

Определив угловые размеры хорд, можно рассчитать время пребывания ОН в зоне видимости КА [1].

Воспользовавшись методом, описанным в [2] и руководствуясь геометрическими соображениями (рис. 3), для первого варианта пересечения можно получить следующие зависимости:

$$t_1 = \frac{A^{3/2}}{\sqrt{\mu}} [E_1 - e \sin E_1],$$

$$\operatorname{tg} \frac{E_1}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg}(u_{OH} - \omega + \Delta\varphi_2^*),$$

$$t_2 = \frac{A^{3/2}}{\sqrt{\mu}} [E_2 - e \sin E_2],$$

$$\operatorname{tg} \frac{E_2}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg}(u_{OH} - \omega - \Delta\varphi_1^*),$$

где t_1 – время движения КА от перигея орбиты до точки выхода КА из зоны видимости ОН; E_1 – эксцентрическая аномалия, соответствующая точке выхода КА из зоны видимости ОН; A – большая полуось орбиты; $(u_{OH} - \omega + \Delta\varphi_2^*)$ – угловое расстояние от перигея орбиты до точки выхода КА из зоны видимости ОН; t_2 – время движения КА от перигея орбиты до точки входа КА в зону видимости ОН; E_2 – эксцентрическая аномалия, соответствующая точке входа КА в зону видимости ОН; $(u_{OH} - \omega - \Delta\varphi_1^*)$ – угловое расстояние от перигея орбиты до точки входа КА в зону видимости ОН; u_{OH} – аргумент широты параллели, на которой расположен ОН.

Для второго варианта пересечения зависимости будут выглядеть следующим образом:

$$\operatorname{tg} \frac{E_1}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg}(u_{OH} - \omega + \Delta\varphi_2^* + \Delta\varphi_2^* + \Delta\varphi_3^*),$$

$$\operatorname{tg} \frac{E_2}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg}(u_{OH} - \omega + \Delta\varphi_1^* + \Delta\varphi_2^* - \Delta\varphi_3^*),$$

где $(u_{OH} - \omega + \Delta\varphi_1^* + \Delta\varphi_2^* + \Delta\varphi_3^*)$ – угловое расстояние от перигея орбиты до точки выхода КА из зоны видимости ОН; $(u_{OH} - \omega + \Delta\varphi_1^* + \Delta\varphi_2^* - \Delta\varphi_3^*)$ – угловое расстояние от перигея орбиты до точки входа КА в зону видимости.

Время, в течение которого ОН находится в зоне видимости КА, определится как

$$t_{OH} = t_1 - t_2$$

Таким образом, разработанный метод позволяет определять среднее и суммарное время пребывания ОН в зоне видимости КА на заданном интервале времени. Метод может использоваться при решении задач выбора орбитальных параметров КСН и планировании программы съемки.

Библиографический список

1. Основы теории полета космических аппаратов. Под ред. Г.С. Нариманова и М.Д. Тихонравова. М.: Машиностроение. 1972.
2. Еленев В.Д., Панков А.А. Метод выбора параметров орбитальной структуры космических систем наблюдения // Вестник СГАУ. – Самара, 2006. № 1 (9) С. 62-68.