

## МОДЕЛЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЫ И ОБЪЕКТОВ КРУГОВОЙ ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ОРБИТЫ

**А.В. Малинка**  
(в/ч 07378, г. Мирный)

*Рассмотрены подходы к формализованному описанию движения космического объекта на круговой экваториальной орбите относительно космического объекта на геостационарной орбите. Это позволит рассчитать их сближение.*

**Ключевые слова:** геостационарный КА, период обращения КА, угловая скорость вращения.

Все геостационарные КА, независимо от государственной принадлежности и целевого назначения, вращаются по круговой геостационарной орбите (ГСО):

Вид орбиты	круговая
Наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора $i$ , град	0
Период обращения КА на геостационарной орбите $T$ , ч	23,934
Радиус орбиты $r$ , км	42164,2

Особенностью геостационарных КА [1, 2] является совпадение их угловой скорости  $\bar{\omega}_{ГСО}$  с угловой скоростью вращения Земли вокруг своей оси  $\bar{\omega}_3$ , как по величине, так и по направлению, т. е.

$$\bar{\omega}_{ГСО} = \bar{\omega}_3.$$

Величина угловой скорости вращения Земли вокруг своей оси в абсолютном пространстве (относительно звёзд) определяется из соотношения

$$\bar{\omega}_3 = 2\pi/T_{зв}, \quad (1)$$

где  $T_{зв} = 86164$  с – звёздные сутки.

Звёздные сутки есть ни что иное как промежуток времени в эфемеридных (постоянных по длительности) секундах, за который Земля совершит полный оборот вокруг своей оси относительно заданной звезды, на меридиане наблюдателя.

В отличие от продолжительности средних солнечных суток (промежуток времени между соседними полуднями на меридиане наблюдателя

равный 24 часам или 86400 эфемеридным секундам) звёздные сутки меньше на величину

$$\Delta t = 86400 - 86164 = 236 \text{ с,}$$

связанную с вращением Земли вокруг Солнца по своей орбите.

Подставив в (1) значения  $2\pi$  и  $T_{зв}$ , получим, что угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси

$$\bar{\omega}_3 = 0,72921 \cdot 10^{-4} \text{ рад/с} = 15,041 \text{ град/с.}$$

Геостационарный КА, вращаясь вдоль орбиты с угловой скоростью  $\bar{\omega}_{ГСО} = \bar{\omega}_3$ , будет в любой момент времени находиться над одной и той же точкой земного экватора, координаты которой ( $\lambda_c = \lambda_0$  – долгота,  $\psi_c = 0^\circ$  – широта) будут совпадать с долготой  $\lambda_0$  выведения КА на геостационарную орбиту, плоскость которой совпадает с плоскостью земного экватора поскольку угол между ними (наклонение  $i_c$ ) равен нулю.

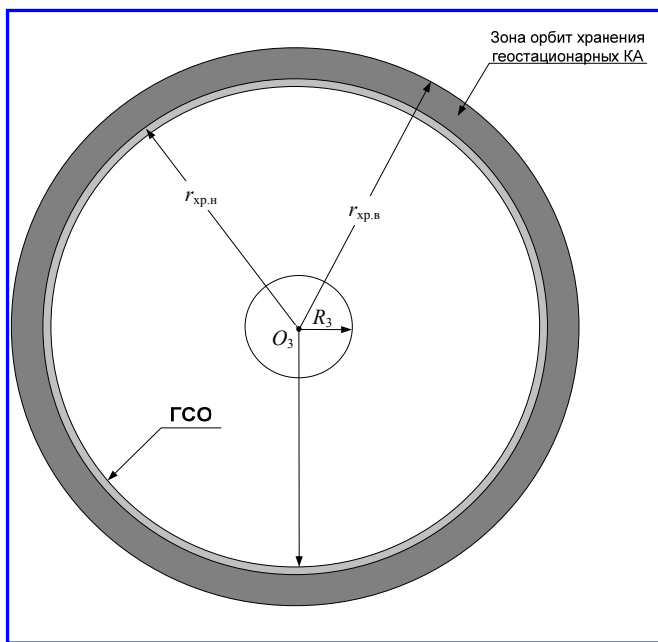
Известно, что круговая скорость движения КА вдоль геостационарной орбиты определяется по формуле

$$v_{ГСО} = \sqrt{\kappa/r_{ГСО}}, \quad (2)$$

где  $\kappa = 398602,5$ ,  $\text{км}^3/\text{с}^2$  – гравитационная постоянная Земли.

Подставляя в (2) значения  $\kappa$  и  $r_{ГСО} = 42164,2$  км, получим

$$v_{ГСО} = 3074,667 \text{ м/с} = 3,074667 \text{ км/с.}$$



### ГСО и зона хранения геостационарных КА

Из различных источников известно, что орбиты хранения отработавших свой ресурс геостационарных КА располагаются выше геостационарной орбиты на круговых орбитах радиуса

$$r_{ГСО} + 100 \text{ км} \leq r_{хр} \leq r_{ГСО} + 300 \text{ км}.$$

На рисунке изображена ГСО и зона хранения геостационарных КА, где  $R_3 = 6371 \text{ км}$  – радиус Земли;  $r_{ГСО} = 42164 \text{ км}$  – радиус орбиты ГСО;  $r_{хр.н} = 42264 \text{ км}$  – нижний радиус зоны хранения;  $r_{хр.в} = 42464 \text{ км}$  – верхний радиус зоны хранения.

Таким образом, нижняя граница орбит хранения геостационарных КА совпадает с плоскостью геостационарной орбиты, а значит, они совпадают и с плоскостью земного экватора, т. е.  $i_{хр} = 0^\circ$ .

Рассчитаем по формуле (2) линейные скорости движения хранящихся геостационарных КА на верхней  $r_{хр.в}$  и нижней  $r_{хр.н}$  границах зоны хранения геостационарных КА:

$$v_{хр.в} = 3,063794 \text{ км/с};$$

$$v_{хр.н} = 3,071035 \text{ км/с}.$$

Из курса теоретической механики известно, что при известных линейной скорости  $v$  и радиусе круговой орбиты  $r$  угловая скорость вращения аппарата вдоль орбиты  $\omega$  определяется по формуле

$$\omega = v/r. \quad (3)$$

Подставляя в (3) известные нам  $v_{хр.н}$ ,  $v_{хр.в}$  и  $r_{хр.н}$ ,  $r_{хр.в}$  получим

$$\bar{\omega}_{хр.в} = 3,063794/42464 = 0,00007215 \text{ рад/с};$$

$$\bar{\omega}_{хр.н} = 3,071035/42264 = 0,000072663 \text{ рад/с}.$$

Переведя  $\omega_{хр.н}$  и  $\omega_{хр.в}$  из радиан в градусы, получим

$$\omega_{хр.в} = 14,8824 \text{ град/с};$$

$$\omega_{хр.н} = 14,9878 \text{ град/с}.$$

Сравнивая угловые скорости  $\omega_{хр.н}$ ,  $\omega_{хр.в}$  с угловой скоростью вращения ГСС (вращения Земли вокруг своей оси) получим, что

$$\Delta\omega_{хр.в} = \omega_{хр.в} - \omega_{ГСС} = 14,8824 - 15,041 = -0,1586 \text{ град/ч};$$

$$\Delta\omega_{хр.н} = \omega_{хр.н} - \omega_{ГСС} = 14,9878 - 15,041 = -0,0532 \text{ град/ч}.$$

Поскольку вращение ГСС, как и вращение Земли вокруг оси, происходит с запада на восток, то  $\Delta\omega_{хр.в}$  и  $\Delta\omega_{хр.н}$  есть ни что иное как относительные скорости ухода хранящихся на орбитах (зоне хранения) геостационарных КА в западном направлении относительно любого аппарата, движущегося по круговой геостационарной орбите.

### Литература

1. Управление орбитой стационарного спутника / Г.М. Чернявский и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 144 с.
2. Современные технологии навигации геостационарных спутников. – М.: Физматлит, 2006. – 272 с.

Поступила в редакцию 01.02.2010

*Анатолий Владимирович Малинка, адъюнкт заочной формы обучения ВКА им. Можайского, подполковник, начальник лаборатории в/ч 07378, т. (818 34)-5 44 93, e-mail: Crimson-friend@rambler.ru.*