

ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ТЯГИ ДВИГАТЕЛЕЙ КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ

При проектировании геостационарного спутника возникает задача выбора тяги электрореактивных двигателей (ЭРД) коррекции орбиты. Желательно снижать мощность двигателя с тем, чтобы уменьшить массу двигательной установки. Однако с точки зрения баллистической эффективности выгодна максимальная тяга. Задачей проектирования является достижение разумного баланса между этими противоположными требованиями, для чего необходима выработка определенных критериев.

Максимум тяги ограничивается величиной располагаемой мощности бортовой энергоустановки. Однако вопрос о нижней допустимой границе тяги остается открытым. В настоящей работе рассмотрен возможный критерий определения минимально допустимой тяги двигателя коррекции орбиты геостационарного спутника с точки зрения сохранения приемлемой баллистической эффективности.

Ограничимся задачей коррекции наклона орбиты (в направлении «север-юг»). При удержании космического аппарата (КА) по широте компенсируется вековая составляющая изменения вектора наклона, обусловленная лунно-солнечными возмущениями. Ежесуточное подлежащее компенсации изменение вектора наклона, обусловленное указанными выше факторами, составляет от 8 до 10 угл.с. [1, 2].

Длительность работы тк двигателя в сеансе коррекции наклона определяется по формуле:

$$\tau_k = 2 \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} \arcsin \left(\frac{\Delta i_B \cdot \mu}{2a^2 \cdot g_{zk}} \right), \quad (1)$$

где g_{zk} – бинормальное ускорение двигателя коррекции наклона.

С использованием формулы (1) построена зависимость (рис. 1) изменения вектора наклона от продолжительности работы двигателя для различных значений номинальных тяг (16, 8, 4, 3 гс) и массы КА 3000 кг.

Как следует из формулы (1), эффективность коррекции резко падает при удалении от оптимальной точки более, чем на 30° орбитальной дуги. Зависимость средней эффективности приложения тяги от величины смещения корректирующего воздействия относительно оптимальной точки приведена на рис. 2.

Учитывая, что геостационарный КА проходит за один час 15° дуги геостационарной орбиты, проведение коррекций длительностью более 4 часов (\pm часа относительно оптимальной точки) приведет к значительной потере эффективности. При ограничении длительности коррекции четырьмя часами средняя эффективность коррекции (рис. 2), составит примерно 0.945, что можно признать приемлемой. Поэтому прием длительности коррекции, равную 4 часам, в качестве параметра, накладывающего ограничение на величину тяги двигателя.

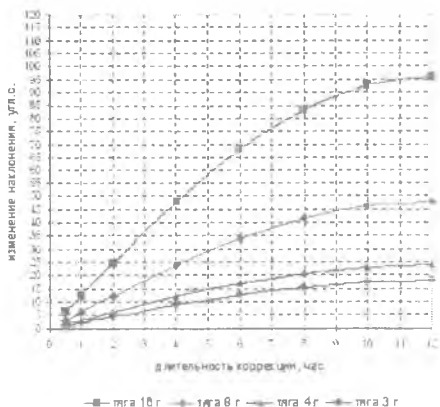


Рис. 1. Изменение вектора наклонения КА массой 3000 кг для различных номинальных тяг и времени работы двигателя

Иными словами, необходимо определить величину ускорения, создаваемого двигателем, при которой длительность сеанса коррекции не превышает 4 часа.

Определим величину необходимого изменения вектора наклонения за коррекцию. С учетом ряда приводящих дополнительных факторов необходимая величина изменения вектора наклонения за сутки больше определенной выше величины и составляет 15 угл.с. С учетом этой величины и выбранного ограничения длительности сеанса коррекции из формулы (1) можно получить величину минимально допустимого бинормального ускорения, создаваемого двигателем коррекции наклонения $\sim 7,83 \cdot 10^{-9}$ км/с². Эта величина ускорения определяет минимально приемлемую величину тяги двигателя, при которой коррекция наклонения остается еще достаточно эффективной. Задавая массу КА можно перейти от ускорения к соответствующей номинальной тяге двигателя с учетом отклонения от направления бинормали на конструктивный угол установки.

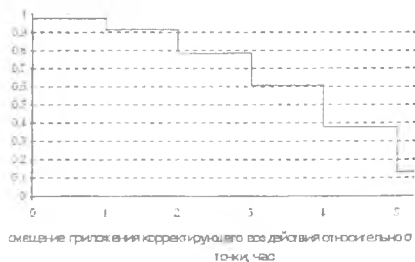


Рис. 2. Средняя эффективность приложения коррекционного воздействия относительно оптимальной точки орбиты

При выполнении вышеперечисленных условий минимальная величина тяги, необходимая для удержания по широте при массе КА до 3000 кг, с учетом некоторого запаса составляет около 4 гс. Однако для обеспечения приемлемой длительности динамических операций на начальном этапе эксплуатации на орбите или при переводе в другую точку стояния величина тяги должна быть увеличена еще в 1.5-2 раза, то есть составлять 6-8 гс для КА массой до 3000 кг.

Таким образом, из условия сохранения баллистической эффективности приложения тяги для коррекции наклона геостационарного спутника (эффективность не менее 0.945, длительность коррекции в оптимальной области не более четырех часов) определено минимальное ускорение – $7,83 \cdot 10^{-9} \text{ км/с}^2$, которое должно создаваться двигательной установкой. С учетом необходимого запаса на уменьшение тяги в процессе износа двигателя, запаса тяги на обеспечение приемлемой длительности периода компенсации начальных ошибок выведения и перевода КА, номинальная тяга должна составлять для спутников массой 2500 ... 3000 кг величину порядка 6-8 гс. Это требование определяет необходимую мощность двигателя, и для холловских ЭРД эта мощность должна составлять не менее 1.5-2 кВт.

Библиографический список

1. Г.М. Чернявский, В.А. Бартенев, В.А. Малышев. Управление орбитой стационарного спутника. М.: Машиностроение. 1984.
2. ТО 150-3850-91. Технический отчет НПО ЦМ. Исследование характеристик процесса автономного удержания геостационарного КА в заданной области по широте и долготе, 1991 г.