

УДК 629.7

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАКЕТНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ НИЗКИХ ОРБИТ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Жоголева К. В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Основной задачей космической системы наблюдения за земной поверхностью является распознавание объектов различных размеров с периодичностью от нескольких часов до нескольких лет.

Желательным вариантом съёмки наземных объектов с высоким разрешением является размещение космического аппарата (КА) на низких орбитах, высотой порядка 300...500 км. Проблемой для всех низких орбит является значительное торможение КА, обусловленное атмосферой Земли, что вызывает достаточно быстрое снижение высоты орбиты КА. Решением этой проблемы является использование электрических ракетных двигателей (ЭРД) для компенсации аэродинамического сопротивления.

Необходимое условие для компенсации аэродинамических возмущений:

$$a_k \geq f_a; \int_0^T \frac{P}{M_{КА}} \alpha dt \geq \int_0^T \sigma_{cp} \rho V^2 dt;$$

где P – тяга ЭРД; $M_{КА}$ – масса космического аппарата; $\sigma_{cp} = \frac{c_x S}{2M_{КА}}$ – его средний

баллистический коэффициент; ρ – плотность атмосферы; V – скорость полёта КА; α – относительное время работы ЭРД на витке ($\alpha = \frac{T_M}{T_{ОБ}}$, где T_M – моторное время, $T_{ОБ}$ –

период обращения). Левая часть неравенства отражает интегральные управляющие воздействия, правая часть – интегральные возмущающие воздействия [1].

В качестве модели, характеризующей текущее состояние атмосферы, можно использовать так называемую “динамическую” модель плотности атмосферы:

$$\rho = \rho_M k_1 k_2 k_3 k_4 + \delta\rho,$$

где ρ_M – плотность ночной атмосферы; k_1 – коэффициент, учитывающий влияние суточного эффекта; k_2 – поправочный коэффициент, учитывающий полугодовой эффект, k_3 – коэффициент, учитывающий отклонение среднесуточного индекса солнечной активности от его среднего значения за период; k_4 – коэффициент, учитывающий корреляцию между плотностью атмосферы и геомагнитной возмущённостью; $\delta\rho$ – случайные изменения плотности [2].

На рисунке 1 представлена область потребных значений корректирующего ЭРД, зависящего от баллистического коэффициента и высоты полета.

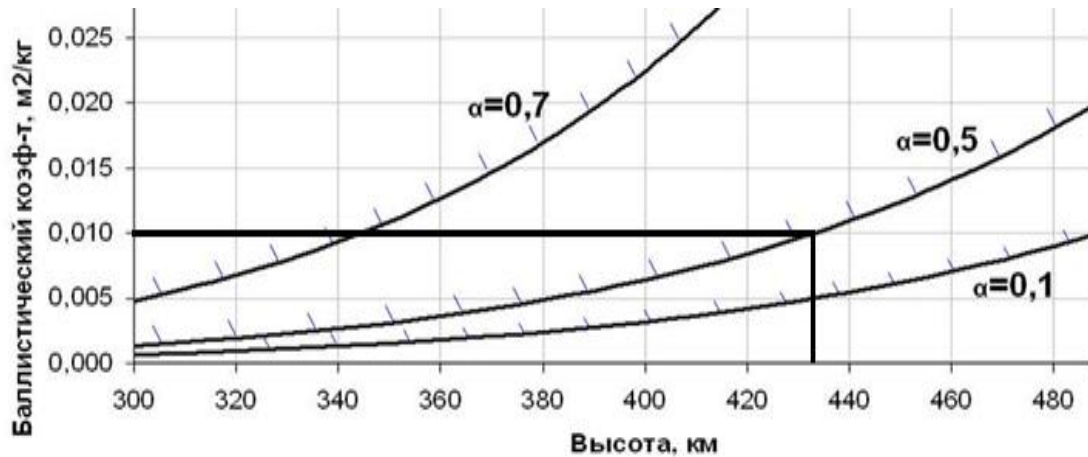


Рис. 1. Область применения корректирующей ЭРД на низкоорбитальных космических аппаратах при уровне солнечной активности $F_0=250 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{Гц})$

По графикам (рис. 2) видно, что для различных высот орбит в зависимости от уровня солнечной активности требуются различные уровни потребной тяги двигательной установки и потребной мощности энергетической установки.

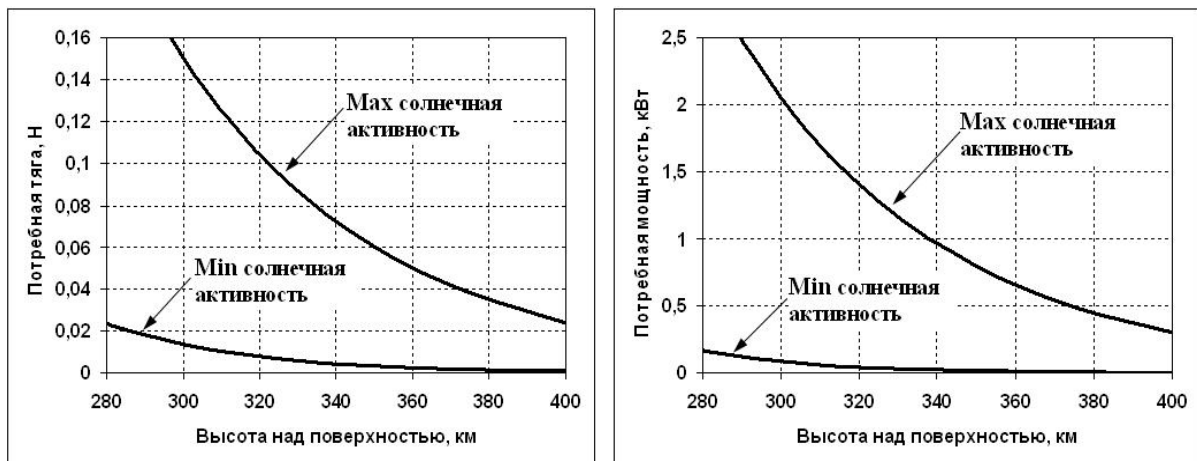


Рис. 2. Зависимость минимальной потребной тяги и потребной мощности ЭРДУ для осуществления коррекции от высоты перигея орбиты при крайних уровнях плотности атмосферы

Оценка эффективности применения электроракетной двигательной установки для коррекции низких орбит искусственных спутников Земли была проведена для КА TacSat-2 (США) [3]. Масса спутника около 400 кг. Энергопитание КА обеспечивают две солнечные батареи мощностью 550 Вт и литий-ионные аккумуляторы ёмкостью 30 А·ч. На TacSat-2 для компенсации снижения высоты орбиты из-за торможения в верхних слоях атмосферы используется электроракетный двигатель ВТН-200-Х3 компании Busek тягой 4...17 мН. Предполагаемый срок активного существования КА составляет 5 лет.



Рис. 3. TacSat-2

Таким образом, для поддержания орбиты высотой $H = 410$ км на период 5 лет необходимо 5 – 6 кг рабочего тела (Xe). А для поддержания орбиты высотой $H = 350$ км на период 5 лет необходимо 15 – 18 кг рабочего тела. Однако для этого необходимо иметь двигатель с удельной тягой $P = 0,06$ Н (у TacSat-2 $P = 0,017$ Н), что потребует располагаемую мощность $N = 0,75$ кВт.

Библиографический список

1. Салмин, В. В. Поддержание заданных орбитальных параметров КА с помощью двигателей малой тяги [Текст] / В. В. Салмин, В. В. Волоцунев, С. В. Шиханов // Вестник СГАУ. – 2013 г. – № 42.
2. Дубошин, Г. Н. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике [Текст] / Г.Н. Дубошин. – М.: Наука, 1976.
3. Соллогуб, А. В. Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли. Математические модели повышения эффективности КА [Текст] / А.В. Соллогуб, Г.П. Аншаков, В.В. Данилов; под ред. Д.И. Козлова. – М.: Машиностроение, 1993.