

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВРАЩАЮЩИХСЯ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Рассмотрены вопросы определения времени существования связки, вращающейся в плоскости орбиты, для тросовой системы протяженностью от десятков до сотен метров. Получены формулы для расчета коэффициента аэродинамического сопротивления связки.

Ключевые слова: Связка, время баллистического существования, аэродинамическое сопротивление связки.

Актуальность и постановка задачи

В последние годы увеличился интерес к космическим тросовым системам (ТС), разнообразным по назначению и решающим научные и прикладные задачи [1].

Вращающиеся ТС двух тел с гибкой связью (ГС), на концах которых размещена научная аппаратура, эффективно используются для изучения ионосферы путем отделения ТС от космического аппарата (КА).

Основным эксплуатационным параметром ТС является время баллистического существования, зависящее от аэродинамических характеристик связки.

В связи с этим актуальным является определение и прогнозирование аэродинамических характеристик связки с протяженностью от десятков до сотен метров.

Решение задачи

На время баллистического существования космических тел существенное влияние оказывают аэродинамические силы и плотность атмосферы.

Рассмотрим аэродинамические характеристики связки состоящей из нити и концевых тел, имеющие различную форму – цилиндр, конус, сфера и др.

Предполагается, что во время движения ГС натянута, а движение центра масс ГС происходит по невозмущенной Кеплеровой орбите в плоскости орбиты. Предполагается также, что связка вращается с угловой скоростью значительно большей орбитальной угловой скорости ω_0 .

Полагаем, что за один оборот связки плотность атмосферы не меняется, а значения коэффициентов аэродинамического сопротивления тел связки можно считать усредненными.

В этом случае аэродинамические силы, действующие на связку, определяется формулой [2]:

$$F_{\Sigma} = F_1 + F_2 + F_3; \quad F_i = qS_iC_{xi}, \quad (1)$$

где F_1, F_2, F_3 – силы, действующие на конечные тела и связывающую их нить;

q – скоростной напор;

S_i – площадь миделя;

C_{xi} – коэффициенты аэродинамических сил элементов связки ($i=1,2,3$).

Баллистический коэффициент b связки определяющий время баллистического существования ГС, выражается формулой:

$$b = \frac{C_{xcв} \cdot S_{св}}{2m_{св}}, \quad (2)$$

где $C_{xcв}$, $S_{св}$, $m_{св}$ – коэффициент аэродинамического сопротивления связки, площадь миделя связки и масса связки соответственно.

Коэффициент аэродинамического сопротивления связки определяется из формулы (1):

$$C_{xcв} = C_{x1} \cdot \frac{S_1}{S_{св}} + C_{x2} \cdot \frac{S_2}{S_{св}} + C_{x3} \cdot \frac{S_3}{S_{св}}, \quad (3)$$

Площадь миделя связки представляет собой сумму площадей миделя отдельных элементов.

Коэффициент аэродинамического сопротивления связки определяется исходя из конфигурации конечных тел в связке.

Оценим связки, в которой конечные тела ($i=1,2$) выполнены в виде сферы, а гибкая связь – в виде цилиндра длиной l и диаметром поперечного сечения d с площадью миделя $S_{св} = S_3 = ld$.

Коэффициент аэродинамического сопротивления цилиндра определяется по формуле [3].

$$C_x = 2 \sin \alpha + \frac{\sqrt{\pi^3}}{4S_T} \left(\frac{T_2}{T_{\infty}} \right)^{\frac{1}{2}} \sin^2 \alpha, \quad (4)$$

где α – угол между продольной осью цилиндра и вектором скорости набегающего потока;

T_2, T_{∞} – температура набегающего и отраженного потока молекул;

S_T – скоростное отношение скорости потока к наиболее вероятной тепловой скорости молекул.

Среднее значение коэффициента аэродинамического сопротивления цилиндра за оборот связи будет равно:

$$C_{xzc} = \frac{\pi}{4} + \frac{\sqrt{\pi}}{2S_T} \sqrt{1 - \alpha_{ак}}, \quad (5)$$

где $\alpha_{ак}$ – коэффициент аккомодации.

При $S_T = 5 \cdot 10$ и $\alpha_{ак} = 0 \cdot 1$ значение $C_{xzc} = 1,27 \cdot 1,35$.

В дальнейших расчетах принято значение $C_{xzc} = 1,35$.

Для сферы коэффициент аэродинамического сопротивления принимаем равным 2,2.

С учетом полученных соотношений формула (3) имеет вид:

$$C_{xzc} = C_{x1} + \frac{C_{xzc} \cdot S_{zc}}{2S_1}, \quad (6)$$

Для конечных тел в виде сферы диаметром D и $C_x = 2,2$ выражение (6) преобразуется в:

$$C_{xzc} = 2,2 + \frac{2,7}{\pi} \frac{ld}{D^2}, \quad (7)$$

На примере связки, состоящей из двух сфер диаметром $D = 300$ мм, соединенных гибкой связью (нитью) диаметром $d = 1$ мм и длиной l (метры) получим значение C_x из (7) получим:

$$C_{xzc} \approx 10^{-2} l + 2,2. \quad (8)$$

Из полученного выражения видно, что длина ГС существенно влияет на баллистический коэффициент связки и на время ее баллистического существования.

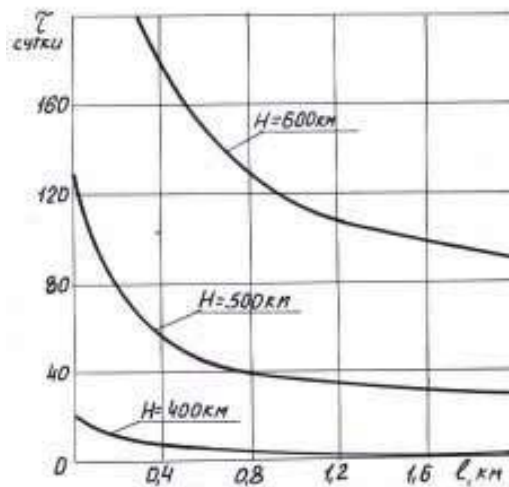


Рисунок – Влияние длины связи на время ее существования

На рисунке приведено изменение времени баллистического существования связки τ для индекса солнечной активности $F_{10,7} = 250$ ед. для различных высот полета H и длин связки. При $l=0$ значения τ соответствуют времени существования конечного тела связки массой 1 кг.

В работе [4] показано, что увеличение длины связки приводит к уменьшению допустимой массы конечного тела и скорости вращения связки. В то же время увеличение длины ведет к существенному увеличению коэффициента аэродинамического сопротивления и уменьшению срока активного существования. Допустимую массу конечного тела можно увеличить за счет увеличения сечения связки. При этом возрастают аэродинамические силы и сила сопротивления разматыванию нити, что потребует увеличения начального импульса отделения конечных тел связки.

Таким образом, параметры связки, длина, угловая скорость вращения, прочностные характеристики нити гибкой связи взаимосвязаны.

Следовательно, выбор проектных характеристик связки необходимо осуществлять с учетом конкретной решаемой задачи.

Полученные результаты настоящей работы и анализ [4] показали, что практически реализовать можно связку длиной до 4 км, вращающуюся с угловой скоростью не более 2 об/мин или наиболее простой вариант – короткие связки длиной 100-200 м.

Выводы

1. Получены аналитические выражения и исследованы особенности расчета коэффициентов аэродинамического сопротивления связки из двух тел с гибкой связью между телами от десятков до сотен метров.

2. Выявлено значительное влияние длины гибкой связи на ее аэродинамические характеристики.

3. Разработаны практические рекомендации для использования ТС при проектировании КА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алпатов А.П., Белецкий В.В., Драновский В.И., Закржевский А.Е., Пироженко А.В., Трогер Г., Хорошилов В.С. Ротационные движения космических тросовых систем. – Днепропетровск: Институт технической механики НАН Украины, 2001.– 404 с.

2. Алпатов А.П., Белоноженко П.А., Пироженко А.В., Шабохин В.А. Об эволюции ротационного движения связки двух тел на орбите // Космические исследования. – 1990, – Т.28, Вып.5. – С. 692-701.

3. Ковтуненко В.М., Камеко В.Ф., Яскевич Э.П. Аэродинамика орбитальных космических аппаратов. – Киев.: Наукова думка, 1977. – 156 с.

4. Шабохин В.А. Особенности создания вращающихся тросовых систем // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Вып. 4 (60). Харьков: НАКУ, 2009. – С. 98-103.