

МЕТОДИКА РАСЧЁТА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ И АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ

Раушанова Дильназ Куанышовна

dilya19.11@list.ru

Студентка 4-го курса кафедры Космическая техника и технологии,

ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Нур - Султан, Казахстан.

Научный руководитель – Касымов У.Т.

Впервые идея использования тросовых систем для сближения космических аппаратов в космосе была выдвинута К. Э. Циолковским более ста лет назад. Проведённые исследования показали перспективность применения тросовых систем для решения многих задач в космосе, в том числе и для задач сближения и встречи космических аппаратов (КА). Основным преимуществом тросовых систем является осуществление сближения и встречи КА при наименьших энергетических затратах по сравнению с традиционными методами сближения. Сближение осуществляется из режима колебаний и вращения тросовой системы вокруг центра масс. В этом случае наиболее полно используются возможности тросовой системы. Методика решения задачи сближения разработана для двух случаев, об этом будет упомянуто ниже. Расчёты показывают, что в том и другом случае для одних и тех же значений истинной аномалии точки встречи величины относительных скоростей оказываются одинаковыми. Требуемые значения длин троса также изменяются в одном и том же диапазоне.

Сближение с КА, движущимся по круговой орбите

При выведения привязного объекта (ПО) в расчетную точку встречи из режима равновесного стационарного движения связки основная задача состояла в определении такой длины соединительного троса D , при которой после расцепления связки ПО переходит на эллиптическую траекторию сближения с КА. На практике во многих случаях может оказаться необходимым решение задачи встречи при некоторой заранее фиксированной длине троса. Применение режимов колебаний и вращения связки вокруг центра масс позволяет решить эту задачу. В этом случае при заданной длине троса определяются необходимые значения амплитуды колебаний связки относительно вертикального положения равновесия и угловой скорости ее вращения вокруг центра масс, обеспечивающих после расцепления связки переход ПО на траекторию встречи с КА.

В зависимости от соотношений радиусов орбит КА и тросовой системы будем различать два случая. В первом случае орбита тросовой системы находится внутри орбиты КА, т.е. $r_A > r_0 + D$. Во втором случае, наоборот, орбита КА располагается внутри орбиты тросовой системы, т.е. $r_A < r_0 - D$.

А) случай $r_A > r_0 + D$

При осуществлении сближения ПО и КА из режима колебаний или вращения связки вокруг центра масс целесообразно расцепление связки производить в момент прохождения ею вертикального положения. Тогда достигается максимальное изменение величины абсолютной скорости ПО, а следовательно, обеспечивается наибольший диапазон орбит КА, на которых можно осуществить встречу ПО и КА. В этом случае абсолютная скорость ПО будет представлять собой сумму переносной $V_{пер}$ и относительной $V_{отн}$ скоростей

$$V_{ПО} = V_{пер} + V_{отн} \quad (1)$$

Величина $V_{пер}$ определяется радиусом орбиты базового объекта связки r_0

$$V_{\text{пер}} = (r_0 + D) \sqrt{\frac{\pi_0}{r_0^3}}, \quad (2)$$

Относительная скорость $V_{\text{отн}}$ зависит от длины троса D и орбитальной угловой скорости вращения связки Ω .

$$V_{\text{отн}} = D\Omega \quad (3)$$

$$\Omega_{\text{ор}} = \Omega\omega_0$$

Если получаем $|\Omega_{\text{ор}}| > \sqrt{3}$, то сближение должно осуществляться из режима вращения связки вокруг центра масс, а при $|\Omega_{\text{ор}}| < \sqrt{3}$ - из режима колебаний связки относительно вертикального положения равновесия. Положительному значению угловой скорости $\Omega_{\text{ор}}$ соответствует вращение связки в направлении орбитальной угловой скорости базового объекта, а отрицательному - вращение в противоположном направлении. Если переход ПО на траекторию встречи осуществляется из режима колебаний, то расщепление связки происходит в момент прохождения тросовой системой вертикального положения в той фазе колебаний, направление которой соответствует полученному знаку $\Omega_{\text{ор}}$. Диапазону $1,58114 < |\Omega_{\text{ор}}| < \sqrt{3}$ соответствуют колебания связки со сходом системы со связки. Если полученное по зависимости $\Omega_{\text{ор}}$ находится в указанном диапазоне, то необходимо изменить длину троса D с тем, чтобы угловая скорость связки изменилась и вышла из опасного диапазона. Сход системы со связки также возможен при вращении связки в направлении, противоположном орбитальной угловой скорости базового объекта, если угловая скорость находится в диапазоне

$$-\sqrt{7} < \Omega_{\text{ор}} < -\sqrt{3}.$$

Для угловой скорости $\Omega_{\text{ор}}$, соответствующей режиму колебаний связки, по величине $\Omega_{\text{ор}}$ определяется амплитуда колебаний связки $\Delta\varepsilon$:

$$\Delta\varepsilon = \frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{2}{3} \Omega_{\text{ор}}^2 \right) \quad (4)$$

При увеличении радиуса орбиты КА значения всех рассматриваемых характеристик процесса сближения возрастают. При этом в случае $r_0 \leq 7350$ км переход ПО на траекторию сближения с КА производится из режима колебаний связки, а при больших r_A - из режима вращения вокруг центра масс.

С увеличением радиуса r_0 значения всех характеристик сближения, кроме t_B , убывают, а полетное время возрастает. Для рассматриваемых вариантов при $r_0 \geq 7350$ км сближение осуществляется из режима колебаний связки относительно вертикального положения равновесия, а при меньших го необходимо использовать режим вращения связки вокруг центра масс. При рассмотренных вариантах $\Omega_{\text{ор}} > 0$, т.е. вращение связки должно производиться в направлении орбитального движения базового объекта связки.

Б) случай $r_A < r_0 + D$

Абсолютная скорость ПО в момент расщепления связки определяется суммой переносной $V_{\text{пер}}$ и относительной $V_{\text{отн}}$ скоростей. Относительная скорость определяется выражением (2), а переносная скоростью зависимостью

$$V_{\text{пер}} = (r_0 - D) \sqrt{\frac{\pi_0}{r_0^3}} \quad (5)$$

Тогда выражение для абсолютной скорости ПО может быть записано в следующем виде:

$$V_{\text{ПО}} = \sqrt{\frac{\pi_0}{r_0^3}} [(r_0 - D) + D\Omega_{\text{ор}}] \quad (6)$$

Для $r_0 = 8000$ км и $r_A = 7350$ км при $D < 50$ км сближение должно осуществляться из режима вращения связки вокруг центра масс, а при $D > 50$ км - из режима колебаний связки относительно вертикального положения равновесия.

При небольших значениях безразмерной длины троса $\Omega_{\text{ор}} > 0$, а в дальнейшем с увеличением \tilde{D} величина $\Omega_{\text{ор}} < 0$, т.е. сближение должно осуществляться при противоположном направлении вращения связки. Для $\tilde{r}_A = 0,99$ при всех длинах троса сближение ПО с КА реализуется из режима колебаний связки относительно вертикального положения равновесия; а для $\tilde{r}_A = 0,95$ и $\tilde{r}_A = 0,9$ при малых \tilde{D} сближение должно осуществляться из режима вращения связки вокруг центра масс, а с увеличением \tilde{D} - из режима колебаний. Во рассмотренных случаях величина амплитуды колебаний связки для $\tilde{r}_A = 0,99$ не превышает максимально допустимого значения исходя из условий нахождения системы на связи.

Заключение

Методика расчёта угловой скорости и амплитуды колебаний тросовой системы, встреча ПО и КА реализуется при минимальном значении относительной скорости. При перемещении точки встречи от перигея к апогею орбиты КА минимальная относительная скорость сначала возрастает и достигает максимального значения при угле истинной аномалии равном 90 градусов, а затем убывает. При встрече ПО и КА в перигее и апогее минимальная относительная скорость равна нулю.

Список использованных источников

1. Циолковский, К. Э. Грезы о Земле и небе и эфеиды всемирного тяготения / Циолковский, К. Э. Издательство «Луч», 1894, 368 с.
2. Иванов, В. А. Сближение в космосе с использованием тросовых систем / В. А. Иванов, С. А. Купреев, М. Р. Либерзон // Издание: Хоружевский. 2010. 360 с.
3. Андреев А. В., Хлебникова Н.Н. Космические системы с гибкими связями. // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Т. 12, 1991, 195 с.
4. Асланов В.С., Ледков Н.Н., Стратилатов Н.Р. Пространственное движение космической тросовой системы, предназначенной для доставки груза на Землю. // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». №2, 2007, с. 28-32.