

УДК 629.76

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ДЛЯ СБЛИЖЕНИЯ В КОСМОСЕ

Отарбаев Нурлыхан Акқайырұлы

ktit130201@gmail.com

Студент 2-го курса кафедры Космическая техника и технологии,

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

Научный руководитель – Жумабаева А.С.

1.1. Методика оценки экономии топлива на основе формулы Циолковского

Выиграш в энергетике за счет использования связки оценивался величиной характеристической скорости для сближения.

Величина характеристической скорости является достаточно общей характеристикой, позволяющей установить преимущества применения тросовой системы для различных схем сближения и различных технических характеристиках системы. В каждом конкретном случае по величине ΔV_{Σ} можно рассчитать массу сэкономленного топлива. Для этого воспользуемся формулой Циолковского.

$$V_k = V_0 + v_e \ln \frac{m_0}{m_k},$$

где, m_0, m_k - начальная и конечная массы гипотетического КА, решающего аналогичную задачу встречи; v_e - эффективная скорость истечения газов двигательной установки гипотетического КА; V_0, V_k - начальная и конечная скорости КА на активном участке сближения.

Если встреча со всеми КА осуществляется при одних и тех же значениях m_{π} и ΔV_{Σ} , то формула упрощается

$$m_{\tau} = n \cdot m_{\pi} \left[\exp \left(\frac{\Delta V_{\Sigma}}{v_e} \right) - 1 \right].$$

1.2. Количественная оценка экономии топлива за счет использования связки для различных схем сближения и для облета привязным объектом системы КА

Результаты расчета экономии топлива при однократном и многократном сближении ПО и КА для основных из ранее рассмотренных вариантов приведены в таблицах 1.1-1.2.

Тогда, когда расстояние между орбитами КА и БО связки достаточно велико (больше располагаемой длины троса) сближение ПО и КА осуществляется с расцеплением связки и последующим переходом ПО на эллиптическую траекторию встречи. В этом случае

реализуется встреча с «жестким» контактом (относительная скорость ПО и КА в момент встречи отлична от нулевого значения). Экономия топлива m_T и другие характеристики сближения ($D, V_{отн}, \Delta V$) приводятся в таблицах 1.1 - 1.2. Значению $n=1$ соответствует однократное сближение. Расчеты во всех вариантах проводились для массы ПО $m_{п} = 2000$ кг и эффективной скорости истечения газов $v_e = 3000 \frac{м}{с}$.

Результаты расчетов встречи с «жестким» контактом при $m_{п} = 2000$ кг и $v_e = 3000 \frac{м}{с}$ в таблицах 1.1-1.2. В таблице 1.1 рассматривается встреча из равновесного стационарного режима движения связки с КА, совершающим полет по круговой орбите радиуса r_a . При однократном решении задачи встречи ($n=1$) экономия топлива m_T для рассмотренных вариантов находится в пределах от 16 до 106 кг, а в случае встречи с десятью КА ($n=10$) значение m_T находится в пределах от 160 до 1065 кг.

Таблица 1.1. Характеристика сближения на круговых орбитах из равновесного режима движения связки и экономия топлива m_T .

r_0 , км		6671		13200	
r_a , км		7004,55	7338,10	12936	12540
D, км		46,240	89,842	38,277	97,892
$V_{отн}$, м/с		79,392	152,392	23,954	61,460
ΔV , м/с		80,228	155,611	23,850	60,790
\tilde{m}_T		0,027104	0,053239	0,009817	0,020470
m_T , кг	n=1	54,27	106,478	15,963	40,940
	n=2	108,414	212,958	31,927	81,880
	n=5	271,035	532,391	79,817	204,700
	n=10	542,069	1064,782	159,633	409,401

Таблица 1.2. Характеристика сближения на эллиптической орбите из равновесного режима движения связки и экономия топлива m_T .

v_B , град		0	30	60	90	120	150	180
D, км		18,830	23,461	36,202	53,823	71,701	84,955	89,842
$V_{отн}$, м/с		352,359	359,124	364,220	339,283	250,925	143,551	12,059
ΔV , м/с		32,705	40,741	62,836	93,357	124,279	147,175	366,294
\tilde{m}_T		1,0961	1,3673	2,1166	3,1608	4,2296	5,0282	12,986
m_T , кг	n=1	21,923	27,346	42,332	63,217	84,593	100,563	259,730
	n=2	43,845	54,692	84,665	126,433	169,186	201,126	519,459
	n=5	109,613	136,730	211,662	316,083	422,964	502,816	1298,65
	n=10	219,226	273,459	423,325	632,165	845,928	1005,63	2597,3

Данные таблицы 1.2 соответствуют «жесткой» встрече ПО и КА, движущимся по эллиптической орбите с фиксированными значениями радиусов перигея и апогея. Встреча реализуется из равновесного режима движения связки. Рассматривается различное положение точек встречи на орбите КА, определяемая углом истинной аномалии v_B . При перемещении точки встречи от апогея орбиты КА к апогею экономия топлива при одноразовой встрече возрастает от 22 до 260 кг, а при многократной встрече ($n=10$) от 219 до 2597 кг. Относительная скорость в момент встречи $V_{отн}$ при изменении угла v_B от 0 до 180 находится в пределах от 12 до 364 м/с. Минимальная относительная скорость имеет место при встрече в апогее орбиты КА, т.е. тогда, когда экономия топлива максимальна.

Анализ полученных результатов показывает, что при фиксированной длине троса выполнение операции сближения и встречи ПО и КА из режима выполнения операции сближения и встречи ПО и КА из режима вращения и колебания связки вокруг центра масс оказывается более экономичным, чем сближение из равновесного стационарного режима давления связки, когда безразмерная угловая скорость равна нулю. Но в этом случае не надо производить закрутку тросовой системы или её раскачивание. Поэтому в ряде случаев может оказаться целесообразным пойти на увеличение длины троса, но отказаться от закрутки связки. Суммарная масса системы может оказаться меньше, чем в случае сближения из режима колебания и вращения связки вокруг центра масс, так как при использовании современных материалов масса троса оказывается сравнительно небольшой.

При осуществлении встречи из режима колебаний и вращения связки даже при однократном выполнении этой операции потребуется применение многоразовой системы, так как в этом случае необходима реализация гравитационной закрутки связки и регулирование длины троса. Ранее отмечалось, что масса такой системы составляет 100-150 кг. Если принять массу двигательной установки маневрирующего КА вместе с топливными баками также 150-200 кг.

В случае выполнения однократной операции сближения из равновесного режима движения связки, отпадает необходимость закрутки тросовой системы и регулирования длины троса. Поэтому может быть использована одноразовая система развертывания троса (СОУРКТ), масса которой оценивается величиной 30-50 кг. С учетом троса суммарная масса СОУРКТ будет 85-100 кг, т.е. на 65-100 кг меньше массы многоразовой системы развертывания. Следовательно, для оценки «чистого» выигрыша в массе системы сближения за счет применения связки к величинам $m_{\text{т}}$, представленным в таблицах 1.1-1.2 для $n=1$, надо прибавить 65-100 кг.

Для выполнения операции облета системы КА в зависимости от того сколько раз должен быть осуществлен облет системы КА на разных орбитах и требуется ли при облете регулировать длины троса могут использоваться одноразовые и многоразовые системы развертывания троса.

Выигрыш в массе системы сближения и системы облета КА за счет применения тросовой системы оказывается значительным при больших массах ПО, решающего задачи сближения и облета системы КА. Так, в случае однократного сближения из равновесного режима движения связки при $r_0 = 6671$ км, $r_{\text{а}} = 7338$ км для массы $m_{\text{п}} = 2000$ кг выигрыш в массе системы сближения составляет примерно 190 кг, а для $m_{\text{п}} = 5000$ кг уже 475 кг. Для облета 6-и КА, движущихся по орбите радиуса $r_{\text{а}} = 8000$ км экономия в массе системы для привязанного объекта массой $m_{\text{п}} = 2000$ кг составляет 699 кг, а для ПО с массой $m_{\text{п}} = 5000$ кг уже 1745 кг.

Вывод: полученные результаты свидетельствуют о достаточно высокой эффективности использования связки для сближения и встречи в космос и для облета системы КА.

Список использованных источников

1. Иванов В.В., Купреев С.А., Либерзон М.Р. Перспективы повышения эффективности космической техники за счет использования специальных тросовых систем. // Тезисы докладов Шестого Международного Аэрокосмического конгресса IAC'09. – М.: 2009, с. 260-261.
2. Иванов В.В., Купреев С.А., Либерзон М.Р. Режимы управляемого движения космических тросовых системы на эллиптических орбитах. // Тезисы докладов Шестого Международного Аэрокосмического Конгресса IAC'09. М., 2009, с. 263-264.
3. Иванов В.В., Купреев С.А., Либерзон М.Р. Испытание летательных аппаратов с использованием тросовых системы. // «Известия» Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Вып. 4 (41), с. 26-30.