



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



Л. Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ
ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Л. Н. ГУМИЛЕВА
GUMILYOV EURASIAN
NATIONAL UNIVERSITY



Студенттер мен жас ғалымдардың
«Ғылым және білім - 2015»
атты X Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
X Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2015»

PROCEEDINGS
of the X International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2015»

УДК 001:37.0
ББК72+74.04
Ғ 96

Ғ96

«Ғылым және білім – 2015» атты студенттер мен жас ғалымдардың X Халық. ғыл. конф. = X Межд. науч. конф. студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2015» = The X International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2015». – Астана: <http://www.enu.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie-2015/>, 2015. – 7419 стр. қазақша, орысша, ағылшынша.

ISBN 978-9965-31-695-1

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001:37.0
ББК 72+74.04

ISBN 978-9965-31-695-1

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2015

ВЫВЕДЕНИЕ ПРИВЯЗНОГО ОБЪЕКТА В РАСЧЕТНУЮ ТОЧКУ ВСТРЕЧИ ИЗ РАВНОВЕСНОГО СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ СВЯЗКИ

Какеев Айтуар

aituar19@mail.ru

Студент 3-го курса кафедры «Космическая техника и технологии» Евразийский национальный университет имени Л. Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – Д. С. Ергалиев

Введение

Для достижения поставленных целей ключевое значение имеет повышение конкурентоспособности РКТ. Важнейшим элементом этого процесса является внедрение перспективных технологий, к которым относится орбитальные тросовые системы.

Сближение с КА, движущимся по круговой орбите

Начнем с рассмотрения задачи сближения между круговыми орбитами. При этом возможны два случая. В первом случае движение связанных объектов происходит на высотах меньших высоты круговой орбиты КА, с которым решается задачи встречи (Рис. 1). Для этого случая $r_A > D + r_0$ (r_A - радиус орбиты КА, r_0 - радиус орбиты базового объекта связки, D - длина соединительного троса).

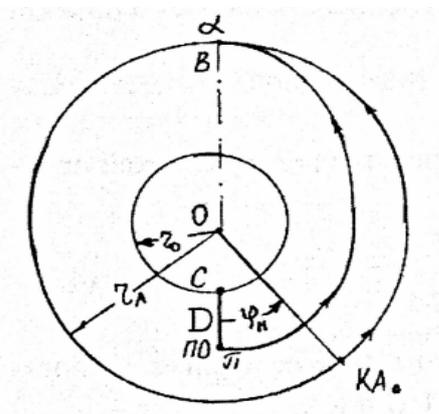


Рис. 1

Во втором случае орбита КА располагается ниже орбит связанных объектов (Рис. 2). В этом случае $r_A < r_0 - D$.

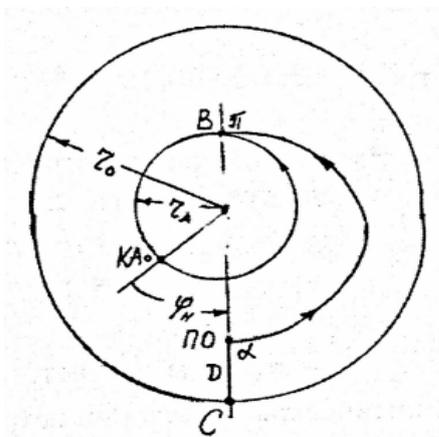


Рис. 2

А) Случай $r_A > D + r_0$

Известно, что при переходе между круговыми орбитами оптимальным по энергетике является переход по эллипсу, который в апсидальных точках касается двух рассматриваемых орбит. При использовании связки нужно выбрать такую длину троса, чтобы после расщепления связки ПО перешел на эллиптическую траекторию встречи с КА. В этом случае точка расщепления соответствует перигею эллиптической траектории (т. π на Рис. 1), а точка встречи В с КА — апогею эллипса (т. α). Радиусы круговой орбиты КА r_A и орбиты базового объекта связки (орбитальной станции) r_0 считаем заданными.

В таблице 1 приведены результаты расчетов характеристик сближения КА из режима равновесного стационарного движения связки при $r_0 = 6671$ км ($h_0 = 300$ км) для значений \bar{r}_A от 1 до 2, что соответствует увеличению радиуса r_A от 6671 до 13342 км. Требуемая длина троса D_2 возрастает от 0 до 602 км. Если принять за предельное значение длины троса $D = 90$ км, то сближение ПО с КА может быть реализовано при радиусах $r_A \leq 7340$ км. Для более высоких орбит КА потребуется чрезмерно большая длина троса (до значения $D_2 = 602$ км при $r_A = 13340$ км).

Таблица 1

Характеристики сближения из режима равновесного стационарного режима движения связки $r_A > D + r_0$ при $r_0 = 6671$ км

\bar{r}_A	1,0	1,05	1,10	1,25	1,50	2,00
r_A , км	6 671,0	7 004,55	7 338,10	8 338,75	10 006,5	13 342,0
\bar{D}_1	0	0,006993	0,013699	0,032258	0,058824	0,1
D_1 , км	0	46,650	91,383	215,194	392,412	667,100
\bar{D}_2	0	0,006932	0,013468	0,031531	0,055076	0,090230
D_2 , км	0	46,240	89,842	210,341	367,415	601,926
$\bar{V}_{отн}$	0	0,010525	0,020686	0,049082	0,091228	0,160001
$V_{отн}$, м/с	0	79,392	152,457	339,347	575,777	874,543
$\Delta\bar{V}$	0	0,010379	0,020131	0,046063	0,081364	0,131896
ΔV , м/с	0	80,228	155,611	356,060	628,933	1019,540
t_B , мин	0	47,130	49,087	55,057	65,249	86,788
φ_B , град	0	5,509	10,515	23,072	38,520	57,773

Величина импульса ΔV оказывается весьма близкой к значению относительной скорости ПО и КА в момент встречи. Так, для длин троса, $D_2 \leq 90$ км разница между ΔV и $V_{отн}$ оказывается менее 2%.

Время полета ПО до расчетной точки встречи с КА с увеличением радиуса орбиты r_A возрастает. Для $r_A = 7005$ км $t_B = 477$ мин, а для $r_A = 13340$ км уже 87 мин. При $r_A \leq 7340$ км t_B не превышает 49 мин.

При $r_A \leq 7340$ км значение φ_B не превосходят 10° , а при $r_A = 13340$ км уже достигает значение 58° .

Б) Случай $r_A < r_0 - D$.

В данном случае точка расщепления связки соответствует апогею эллипса, по которому ПО осуществляет переход в расчетную точку встречи с КА (Рис. 2). Тогда

необходимая для реализации встречи длина троса D определяется из условия равенства абсолютной скорости ПО ($V_{ПО}$) и скорости в апогее переходного эллипса V_{α} .

Импульс скорости ΔV , определяющий выигрыш в энергетике за счет применения связки для решения задачи вывода ПО в расчетную точку встречи с КА, будем рассчитывать как величину необходимого изменения скорости КА для перехода с круговой орбиты радиуса $r = r_0 - D$ на эллиптическую орбиту с радиусом апогея $r_{\alpha} = r_0 - D$ и радиусом перигея $r_{\pi} = r_A$. Переход осуществляется в апогейной точке.

В таблице 2 представлены характеристики процесса сближения ПО и КА из режима равновесного стационарного движения связки в случае $r_A < r_0 - D$, т.е. когда орбита КА располагается внутри орбиты тросовой системы. Расчеты производились для значений безразмерного радиуса орбиты КА $\tilde{r}_A = r_A/r_0$ от 1 до 0,5.

Таблица 2.

Характеристики сближения из режима равновесного стационарного движения связки $r_A < r_0 - D$ при $r_0 = 13200$ км

\tilde{r}_A	1,0	0,98	0,95	0,90	0,80	0,50
r_A , км	13200	12936	12540	11880	10560	6600
\bar{D}_1	0	0,002882	0,007299	0,01493	0,03125	0,09091
D_1 , км	0	38,040	96,350	197,015	412,500	1200,000
\bar{D}_2	0	0,002900	0,007416	0,01543	0,03358	0,11708
D_2 , км	0	38,277	97,892	203,625	443,190	1545,417
$\bar{V}_{отн}$	0	0,043153	0,010901	0,022192	0,046048	0,129997
$V_{отн}$, м/с	0	239,54	61,460	128,546	282,907	1010,255
$\Delta \bar{V}$	0	0,004340	0,011063	0,022873	0,049104	0,159256
ΔV , м/с	0	23,850	60,790	125,692	269,837	875,142
t_B , мин	0	123,620	120,397	115,044	104,396	72,317
φ_H , град	0	-2,360	-6,085	-12,834	-28,799	-112,730

Размерные значения характеристик сближения приведены для радиуса орбиты базового объекта связки $r_0 = 13200$ км. Видно, что с уменьшением безразмерного радиуса \tilde{r}_A абсолютные значения всех рассматриваемых характеристик возрастают. В предыдущем случае $r_A > D + r_0$ эти характеристики возрастали с ростом величины \tilde{r}_A . Но в том и другом случае увеличение D , $V_{отн}$, ΔV , t_B , $|\varphi_H|$ происходит с увеличением разницы между радиусами орбит КА и базового объекта связки.

Полученные отрицательные значения угла начального рассогласования φ_H означают, что для обеспечения встречи ПО с КА в момент расщепления связки КА должен находиться сзади тросовой системы (Рис. 2). При уменьшении радиуса r_A от 12940 до 6600 км угол φ_H изменяется от -2,36 градусов до -112,7 градусов. Для длин троса $D \leq 100$ км начальное угловое рассогласование по величине не превышает 6 градусов.

Сближение с КА, движущимся по эллиптической орбите

При решении задачи сближения ПО с КА, движущимся по эллиптической орбите, будем как и для круговых орбит рассматривать два случая. В первом случае орбита тросовой системы располагается внутри орбиты КА, а во втором случае наоборот, орбита КА

находится внутри орбиты связи. Будем считать заданными радиусы перигея $r_{A\pi}$ и апогея $r_{A\alpha}$ орбиты КА, а также радиус круговой орбиты базового объекта связи r_0 . Необходимо определить длину соединительного троса D , при которой после расщепления связи реализуется переход ПО в расчетную точку встречи с КА по эллиптической траектории.

А) Случай расположения орбиты связи внутри орбиты КА (рис. 3)

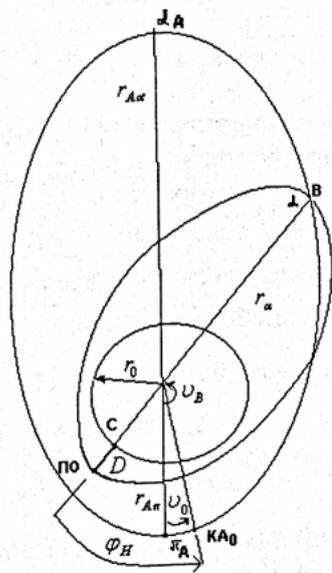


Рис. 3.

Расчетная точка встречи ПО и КА (т. В) задается на орбите КА углом истинной аномалии v_B . Переход ПО в эту точку происходит по эллиптической траектории с радиусом перигея r_{π} и радиусом апогея r_{α} . Точка расщепления связи совпадает с перигеем переходного эллипса, т.е. $r_{\pi} = r_0 + D$.

В таблице 3 приведены результаты расчетов необходимой длины троса по схемам первого приближения D_1 и второго приближения D_2 , а также величин радиусов r_{π} и r_{α} переходного эллипса, относительной скорости в расчетный момент встречи $V_{отв}$, импульса скорости ΔV , определяющего выигрыш в энергетике, времени полета ПО до расчетной точки встречи с КА t_B , требуемых значений угла истинной аномалии v_0 в момент расщепления связи и начального углового рассогласования между КА и тросовой системой φ_H . Расчеты проводились для значений угла истинной аномалии точки встречи от 0° до 180° .

Таблица 3

Характеристики процесса сближения с КА, движущимся по эллиптической орбите с радиусом перигея $\tilde{r}_{A\pi} = 1,02$ и радиусом апогея $\tilde{r}_{A\alpha} = 1,10$ при $r_0 = 6671$ км

($r_{A\pi} = 6804,42$ км; $r_{A\alpha} = 7338,10$ км)

v_B , град	0	30	60	90	120	150	180
\bar{D}_1	0,00283	0,00353	0,005464	0,00815	0,01090	0,01094	0,01370
D_1 , км	18,898	23,566	36,454	54,378	72,684	86,334	91,384
\bar{D}_2	0,00282	0,00352	0,005428	0,00807	0,010748	0,012735	0,013468
D_2 , км	18,830	23,461	36,202	53,823	71,701	84,955	89,842
r_{π} , км	6689,83	6694,46	6707,20	6724,82	6742,70	3775,95	6760,84

r_{α} , км	6804,42	6837,73	6930,43	7061,19	7196,98	7299,75	7338,10
$V_{\text{отн}}$, 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
t_B , мин	45,963	46,157	46,157	47,462	48,257	48,861	49,087
v_0 , град	-168,649	-143,270	-118,037	-91,881	-61,273	-32,813	0,897
φ_{π} , град	11,351	6,730	1,963	-1,881	-1,273	-2,813	0,897

Для рассмотренных вариантов при изменении угла v_B от 0° до 180° необходимая для встречи с КА длина троса изменялась от 18 до 90 км. При этом отличие результатов расчетов по схемам первого и второго приближений составляла от 0,36% до 1,7%. Увеличение радиуса перигея эллиптической траектории сближения происходит от 6690 до **6760 км**, а радиуса апогея от 6800 до 7340 км.

Для одновременного прихода в расчетную точку встречи ПО и КА в зависимости от выбираемой точки встречи КА должен находиться в момент расцепления связки либо впереди тросовой системы ($\varphi_{\pi} > 0$), либо немного сзади ($\varphi_{\pi} < 0$). При этом перемещение точки встречи от перигея к апогею орбиты КА приводит к изменению требуемого начального положения аппарата от $v_0 = -168,6^\circ$ до $v_0 = 0,9^\circ$, т.е. сдвиг начального положения КА по отношению к точке встречи в большинстве случаев достаточно близок к 180° .

Б) Случай расположения орбиты КА внутри орбиты связки (Рис. 4)

Точка встречи ПО и КА (т. **B**) задана, как и в предыдущем случае, на орбите КА углом истинной аномалии v_B , а переход ПО в точку встречи осуществляется по эллиптической траектории с радиусом перигея r_{π} и радиусом апогея r_{α} . Точка расцепления связки соответствует апогею переходного эллипса $r_{\alpha} = r_0 - D$.

Результаты расчетов характеристик процесса сближения для рассматриваемого случая приведены в таблице 4. Для рассмотренных вариантов при перемещении точки встречи от перигея ($v_B = 0^\circ$) до апогея ($v_B = 180^\circ$) орбиты КА требуемая длина троса D уменьшается от 187 ям до 29 км. Радиусы перигея r_{π} и апогея r_{α} траектории сближения возрастают соответственно от 6800 до 7800 ям и от 7812 до 7971 км.

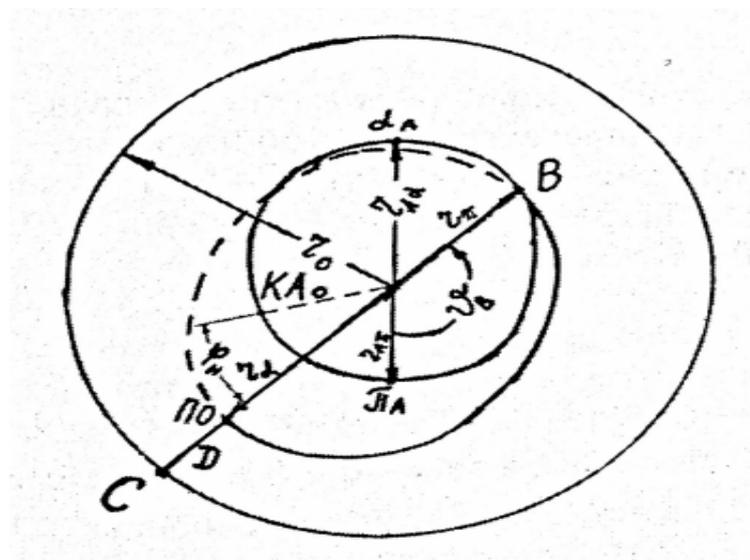


Рис. 4.

Таблица 4

Характеристики процесса сближения с КА, движущимся по эллиптической орбите с радиусом перигея $r_{\pi} = 6800$ км, радиусом апогея $r_{\alpha} = 7800$ км при $r_0 = 8000$ км

v_B , град	0	30	60	90	120	150	180
\bar{D}_1	0,02290	0,02170	0,01837	0,01365	0,00873	0,00500	0,00311
D_1 , км	183,206	173,641	146,936	109,192	69,869	40,033	28,881
\bar{D}_2	0,02342	0,02236	0,01883	0,01390	0,00835	0,00504	0,00363
D_2 , км	187,369	178,857	150,627	111,192	66,764	49,295	29,017
r_{π} , км	6800	6858,91	7025,14	7265,75	7523,40	7723,91	7800
r_{α} , км	7812,14	7812,14	7849,37	7888,81	7933,24	7959,70	7970,98
$V_{отн}$, м/с	2,981	254,701	446,213	529,230	492,062	370,545	287,805
ΔV , м/с	251,936	237,934	200,244	147,656	94,604	53,398	38,438
t_B , мин	51,794	52,153	53,192	54,702	56,345	57,591	58,073
v_0 , град	-180,203	-156,829	-134,638	-11,949	-87,029	-57,831	-23,636
φ_H , град	-0,203	-6,829	-14,638	-21,949	-27,029	-27,831	-23,636

С увеличением угла v_B относительная скорость в расчетный момент встречи ПО и КА возрастает от значения $V_{отн} = 2,98$ м/с при $v_B = 0^\circ$ до $V_{отн} = 287,9$ м/с при $v_B = 180^\circ$. Следовательно, для реализации встречи с минимальными значениями относительной скорости она должна происходить в районе перигея орбиты КА. Для таких траекторий встречи оказывается максимальным выигрыш в энергетике за счет осуществления сближения с КА с применением связки. Выигрыш в энергетике, определяемый импульсом ΔV , при изменении v_B от 0° до 180° уменьшается от 251,9 до 38,4 м/с; продолжительность полета ПО до расчетной точки встречи возрастает от $t_B = 51,8$, мин до $t_B = 58,1$, мин

Требуемое значение начального положения КА в момент расцепления связки изменяется от $v_0 = -180,2^\circ$ до $v_0 = -23,6^\circ$. Начальное угловое рассогласование положений КА и тросовой системы находится в пределах от $\varphi_H = -0,2^\circ$ до $-27,8^\circ$. Таким образом, в момент расцепления связки КА должен находиться сзади тросовой системы.

Список использованных источников

1. Белецкий В. В., Левин Е. М. Динамика космических тросовых систем. - М.: Наука, 1990, 336 с.
2. Беляев М. Ю., Осипов В. Г., Шошунов Н. Л. Проект экспериментальной тросовой системы с атмосферным зондом. // Тезисы докладов Пятого Международного Аэрокосмического конгресса IAC'06. – М., 2006, с. 320.
3. Иванов В. А. Тросовые системы в космосе. // Авиация и космонавтика. 1984, №5, с. 43-44.
4. Пономарев В. М. Теория управления движением космических аппаратов. – М.: Наука, 1965, 456 с.