

Динамика МП

Расчет динамики межзвездного перелета является ключевым для любого проекта МП.

В подавляющем большинстве случаев необходимые исходные данные для проектов авторы получали из энергетических соображений – задавалась скорость, масса полезной нагрузки и определялась стартовая масса (так, например, сделал К.Феоктистов). Практически сразу после знакомства с этими расчетами я обратил внимание, что для случая ракетного движения это не оптимальный вариант и сформулировал задачу оптимизации динамики МП.

(Здесь и далее «динамика МП» употребляется в двух смыслах – методы расчета траектории МП и результаты такого расчета).

Казалось бы, расчет прямолинейной траектории не должен представлять особой сложности и это так если не ставить вопроса оптимизации параметров межзвездного аппарата. В этом случае он решается только численно, а до 80-х гг. просто не хватало вычислительных мощностей, чтобы получить удовлетворительное решение. Тем не менее, алгоритм расчета был разработан и отработывался последовательно на БЭСМ-6, Минск-32, «Наури», ЕС-1060 и ЕС-1840.

Сейчас, располагая неизмеримо большими вычислительными мощностями, я планирую вернуться к этому вопросу и оформить результаты в приемлемом виде, а пока даю вводную часть, так как она была сделана в 1977 г.

И.Мусеев, 30.03.2010

К динамике М.П.

(Вывод основных соотношений)

I Рассмотрим М.П. с начальной и конечной скоростью $V=0$. Вся траектория активный участок.
Будем считать M_0, M_k, S и T заданными.

II Очевидно $V_{хар} = 2V_{max}$ (1.1)

III Выведем выражение для V . На участке разгона до V_{max}

$$V = V_{max} - W \ln \frac{M_0 - mt}{M_0 - mt_n} \quad (1.2)$$

$$V = W \ln \frac{M_0}{M_0 - mt_n} - W \ln \frac{M_0 - mt}{M_0 - mt_n}$$

$$V = W \ln \frac{M_0}{M_0 - mt} \quad (1.3)$$

IV Найдём закон изменения ускорения, продифференцировав V по t

$$a = W m / (M_0 - mt) \quad (1.4)$$

Важные следствия:

$$a_0 = \frac{W m}{M_0} \quad (1.5)$$

$$a_T = \frac{W m}{M_k} \quad (1.6)$$

V Проинтегрировав (1.3) по t определим закон изменения пути

$$S = \frac{W M_0}{m} \left[\left(\frac{M_0 - mt}{M_0} \right) \ln \left(\frac{M_0 - mt}{M_0} \right) + \frac{mt}{M_0} \right] \quad (1.7)$$

МП4-01-Р(Р) [В] 27.03.77

(условные обозначения см док. 000)

МП4-Р

АИ 002-1

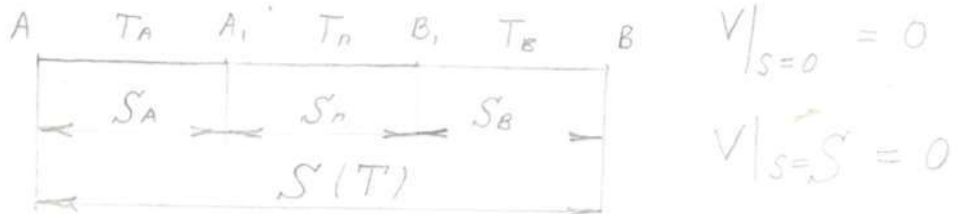
М.П.

27.03.77

К динамике МП.

Расчет траектории.

1. Рассмотрим траекторию МП с пассивным угатком:



2. Будем считать заданными M_0, M_k, W, m, S .

Будем искать $T, T_A, T_B, T_p, S_A, S_p, S_B$ а также V_{max} .

3. Из соотношения (1.1) и АИ-002 и ф. Циолковского следует

$$V_{max} = \frac{1}{2} V_{x_{max}} = \frac{1}{2} W \ln \frac{M_0}{M_k} \quad (2.1)$$

Из анализа траектории следуют очевидные соотношения

$$S_A + S_p + S_B = S \quad (2.2)$$

$$T_A + T_p + T_B = T \quad (2.3)$$

$$S_p = T_p V_m \quad (2.4)$$

Считаем $m = \text{const}$ тогда

$$M = M_0 - mt \quad (2.5)$$

4. Так как скорость приобретенная на участке AA₁ равна скорости потерянной на участке B₁B, можно записать

$$W \ln \frac{M_0}{M_0 - mT_A} = W \ln \frac{M_0 - mT_A}{M_k} \quad \text{откуда}$$

$$T_A = \frac{M_0 - \sqrt{M_0 M_k}}{m} \quad (2.6)$$

5. Записав (2.5) как $M_0 = M_k + mT_A + mT_B$ получим

$$T_B = \frac{\sqrt{M_0 M_k} - M_k}{m} \quad (2.7)$$

Условные обозначения см. д. 001

К динамике М.П.

Расчет траектории

6. Подставив в выражения (1.7) и АИ-002 значения T_A и T_B (см (2.6) и (2.7) АИ 002) найдем S_A и S_B

$$S_A = W \frac{M_0}{m} \left(\sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \ln \left(\sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \right) + 1 - \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \right) \quad (3.1)$$

$$S_B = W \frac{\sqrt{M_0 M_K}}{m} \left(\sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \ln \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} + 1 - \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \right) \quad (3.2)$$

7. Из уравнений (2.6), (2.7) АИ 002 и (3.1), (3.2) следуют интересные соотношения

$$\frac{T_A}{T_B} = \sqrt{4} \quad ; \quad \frac{S_A}{S_B} = \sqrt{4} \quad (3.3)$$

8. Из выражений (2.2) и АИ-002 и (3.1) и (3.2) получаем

$$S_n = S - \frac{W}{m} (M_0 + \sqrt{M_0 M_K}) \left(\sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \ln \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} + 1 - \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \right) \quad (3.4)$$

учитывая (2.4) АИ 002 а также (2.1)

$$T_n = \frac{2S}{W \ln \frac{M_0}{M_K}} - \frac{2(M_0 + \sqrt{M_0 M_K}) \left(\sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \ln \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} + 1 - \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \right)}{m \ln \frac{M_0}{M_K}} \quad (3.5)$$

9. Из (2.3) (2.6) (2.7) АИ 002 и 3.5 найдем T

$$T = \frac{M_0 - M_K}{m} + \frac{2S}{W \ln \frac{M_0}{M_K}} - \frac{2(M_0 + \sqrt{M_0 M_K}) \left(\sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \ln \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} + 1 - \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \right)}{m \ln \frac{M_0}{M_K}} \quad (3.6)$$

К динамике М.П.

Табл 2

Л	\sqrt{L}	$(\sqrt{L})^{-1}$	$\ln L$	$\ln L \frac{1}{L}$	A	$(1+L^{\frac{1}{2}}) \cdot A$
50	7,071	0,1414	3,912	1,956	0,582	0,664
55	7,416	0,1348	4,007	2,0035	0,585	0,675
60	7,746	0,1291	4,094	2,047	0,607	0,685
65	8,062	0,1240	4,174	2,087	0,617	0,694
70	8,367	0,1195	4,248	2,128	0,627	0,702
75	8,660	0,1155	4,318	2,159	0,635	0,708
80	8,944	0,1118	4,382	2,191	0,643	0,715
85	9,220	0,1085	4,443	2,222	0,650	0,721
90	9,487	0,1054	4,500	2,25	0,657	0,726
95	9,747	0,1026	4,554	2,277	0,664	0,732
100	10,00	0,1	4,605	2,3025	0,670	0,737
105	10,25	0,098	4,654	2,327	0,674	0,740
110	10,49	0,095	4,700	2,350	0,682	0,747
115	10,72	0,0933	4,745	2,3725	0,685	0,749
120	10,95	0,0913	4,787	2,3935	0,690	0,753
125	11,18	0,0894	4,828	2,414	0,695	0,757
130	11,40	0,0877	4,868	2,434	0,699	0,760
135	11,62	0,0861	4,905	2,4525	0,703	0,764
140	11,83	0,0845	4,942	2,471	0,707	0,767
145	12,04	0,0831	4,977	2,489	0,710	0,769
150	12,25	0,0816	5,011	2,506	0,714	0,772
155	12,45	0,0803	5,043	2,522	0,717	0,775
160	12,65	0,0791	5,075	2,538	0,720	0,777
165	12,85	0,0778	5,106	2,553	0,724	0,780
170	13,04	0,0767	5,135	2,568	0,726	0,782
175	13,23	0,0756	5,165	2,588	0,729	0,784
180	13,42	0,0745	5,193	2,597	0,732	0,787
185	13,60	0,0735	5,220	2,610	0,735	0,789
190	13,78	0,0726	5,247	2,6235	0,737	0,791
195	13,96	0,0716	5,273	2,637	0,740	0,793
200	14,14	0,0707	5,298	2,649	0,742	0,794

$$A = \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} \ln \sqrt{\frac{M_K}{M_0}} + 1 - \sqrt{\frac{M_K}{M_0}}$$

условные обозначения см д 001-

ДИ 002-4

МАСТ

02.04.77

К динамике М.П.

Табл 2 (продолж)

СИ № I 002-5

U	\sqrt{U}	$(\sqrt{U})^{-1}$	$\ln U$	$\ln(U)^{-\frac{1}{2}}$	A	$(1+U^{-\frac{1}{2}}) \cdot A$
2	1,414	0,7072	0,69315	0,34658	0,0477	0,0814
5	2,236	0,4472	1,60944	0,80472	0,1929	0,2792
10	3,162	0,3163	2,30259	1,15129	0,3195	0,4206
15	3,873	0,2582	2,70805	1,35403	0,3922	0,4935
20	4,472	0,2236	2,99573	1,49787	0,4415	0,5402
25	5,000	0,2000	3,21888	1,60944	0,4781	0,5737
30	5,477	0,1826	3,40120	1,70060	0,5069	0,5995
35	5,916	0,1690	3,55535	1,77767	0,5306	0,6203
40	6,325	0,1581	3,68888	1,84444	0,5503	0,6373
45	6,708	0,1491	3,80666	1,90333	0,5671	0,6517

К динамике М.П.
Зависимость Т от Ц для некоторых
вариантов М.П.

ТАБЛ 3

Вариант	$M_k (10^8 \text{ кг})$	$m (\text{кг/с})$	$W \cdot 10^6 \text{ м/с}$	$S \cdot 10^{16} \text{ м}$
A	$2 \cdot 10^8 \text{ кг}$	5	10	4,068
B	$2 \cdot 10^8 \text{ кг}$	10	5	4,068
C	$2 \cdot 10^8 \text{ кг}$	10	10	10,8
D	10^8 кг	10	10	4,068
E	10^8 кг	5	3,26	4,068
F	$5 \cdot 10^8 \text{ кг}$	10	10	10,8

ТАБЛ.4 Все Т указаны в 10^8 сек

A			B			C		
Ц	$T_{\text{ак}}$	T	Ц	T	$T_{\text{ак}}$	Ц	$T_{\text{ак}}$	T
10	3,6	37,473	10	41,338	1,8	10	1,8	94,876
20	7,6	31,874	20	50,674	3,8	20	3,8	77,160
30	11,6	31,201	30	51,512	5,8	30	5,8	64,147
40	15,6	32,127	40	49,147	7,8	40	7,8	63,590
50	19,6	33,609	50	48,000	9,8	50	9,8	61,620
60	23,6	35,442	60	47,530	11,8	60	11,8	60,549
70	27,6	37,499	70	47,478	13,8	70	13,8	60,020
80	31,6	39,724	80	47,712	15,8	80	15,8	59,871
90	35,6	42,064	90	48,352	17,8	90	17,8	59,992
100	39,6	44,465	100	48,734	19,8	100	19,8	60,304

D			E			F		
Ц	$T_{\text{ак}}$	T	Ц	$T_{\text{ак}}$	T	Ц	$T_{\text{ак}}$	T
10	0,9	39,869	10	1,8	109,457	10	4,5	96,480
20	1,9	28,287	20	3,8	85,666	20	9,5	77,997
30	2,9	25,741	30	5,8	77,017	30	14,5	72,719
40	3,9	24,573	40	7,8	72,691	40	19,5	71,144
50	4,9	23,991	50	9,8	70,201	50	24,5	71,228
60	5,9	23,772	60	11,8	68,744	60	29,5	72,221
70	6,9	23,739	70	13,8	67,923	70	34,5	73,779
80	7,9	23,856	80	15,8	67,531	80	39,5	75,739
90	8,9	24,176	90	17,8	67,452	90	44,5	77,980
100	9,9	24,367	100	19,8	67,593	100	49,5	80,402

ТАБЛ 4. Угловые данные.

Вар	A		B		C		D		E		F	
Ц	25	35	65	75	75	85	65	75	85	95	35	45
T	31,311	31,599	47,461	47,533	59,914	59,899	23,731	23,786	67,455	67,494	71,648	71,039

Условные обозначения см д

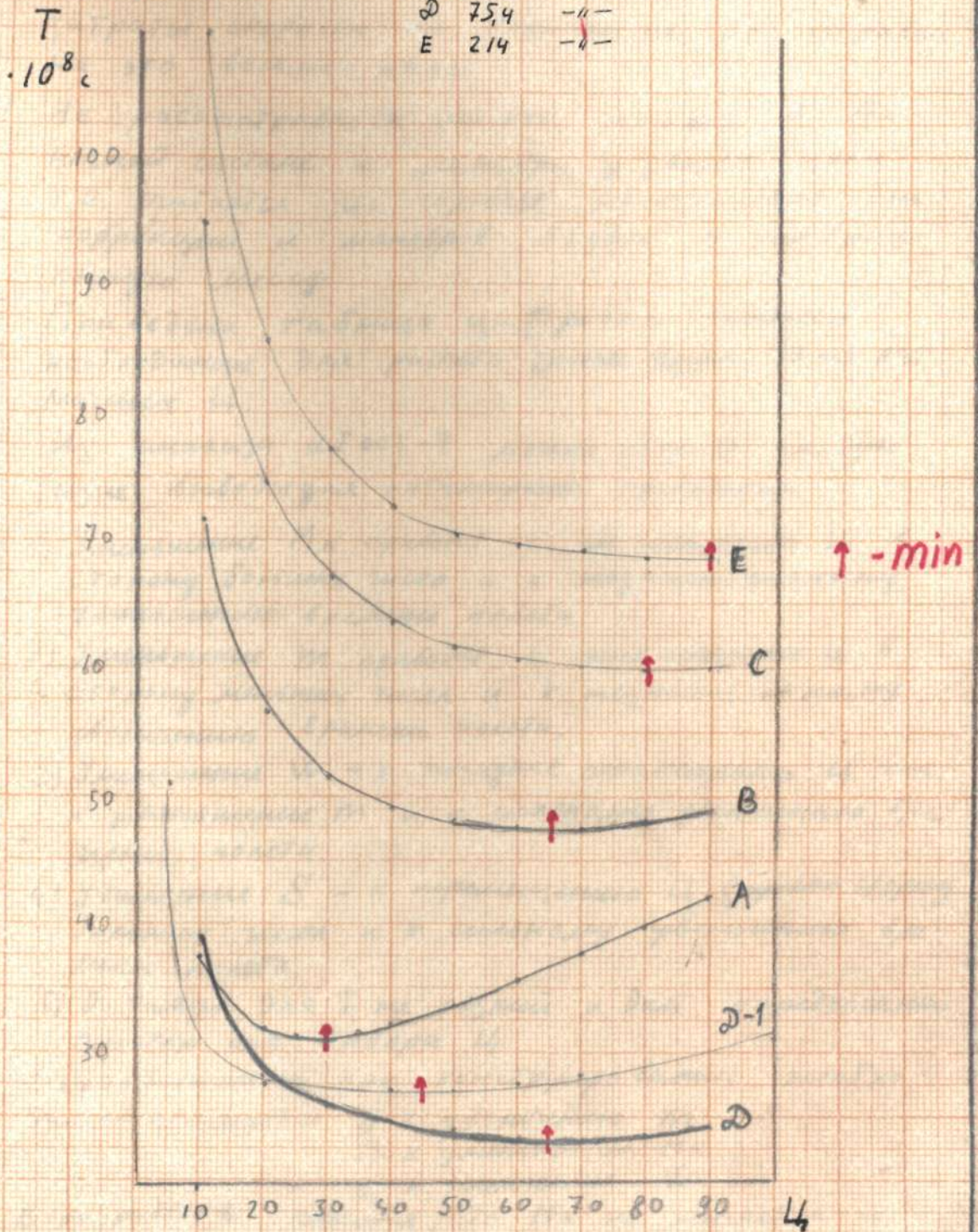
d I 002-6

18.04.77.

К динамике М.П.

Графики по материалам д I-002-6

	min	
A	99	лет
B	150,5	-"-
C	190	-"-
D	75,4	-"-
E	214	-"-



К динамике МП.

Основные выводы.

- I В разработке определен оптимальный тип траектории и выведены формулы позволяющие определить пройденный путь, скорость и ускорение М.К. в любой момент времени.
- II Не учитывалось сопротивление среды и затраты скорости на коррекции т.к. поправки на это весьма малы.
- III Не рассматривался участок полета в боковой системе и маневры у звезды - цели. т.е. считается что горючее необходимое для коррекции и маневров входит в конструктивную массу.
- IV Приведена таблица цифровых величин необходимых для расчета траектории для различных ζ .
- V Из анализа $\alpha I 002 - \text{Б}$ можно сделать следующие выводы для оптимальной траектории.
 - 1) Уменьшение M_k приводит к перемещению ζ в сторону больших чисел и к незначительному уменьшению времени полета
 - 2) Уменьшение M приводит к перемещению ζ в сторону меньших чисел и к незначительному увеличению времени полета.
 - 3) Уменьшение W - к такому же перемещению ζ как и уменьшение M и к сильному увеличению времени полета.
 - 4) Увеличение S - к перемещению ζ вправо сторону больших чисел и к сильному увеличению времени полета.
 - 5) Оптимизируя для T не резко и дает определенный простор для выбора ζ .
- VI Следовательно при конструировании необходимо стремиться 1) к увеличению M .
2) к уменьшению M_k .
3) к увеличению W .
- VII В разработке считается, что М.К. не меняется и М.К. - одной переменной.

Условие \dots $\alpha 000-000$