

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

Кафедра _____ Информатики _____

100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
90												
80												
70												
60												
50												
40												
30												
20												
10												
0												

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №13

«Расчет параметров и характеристик ЖРД»

по дисциплине **Основы конструкции объектов ОТС**

1306.5581308.000 ПЗ

(обозначение документа)

Группа	СТС-407	Фамилия И.О.	Подпись	Дата	Оценка
Студент		Гараев Д.Н.			
Консультант		Минасов Ш. М.			
Принял					

Уфа – 2021 г.

Содержание

ОТЧЕТ	7
Введение	3
Ход работы	4
1.1 Необходимые формулы	4
1.2 Решение.....	5
Заключение.....	10
Список литературы.....	11

					1306.5581308.000 ПЗ		
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата			
Разраб		Гараев Д.Н.			Лабораторная работа №13 «Расчет параметров и характеристик ЖРД»		
Провер.		Минасов Ш. М.					
Н. контр							
Утв							
						Лит	Лист
						2	11
						УГАТУ, СТС-407	

Введение

Целью лабораторной работы является закрепление знаний и получение практических навыков расчета параметров и характеристик жидкостного ракетного двигателя.

Необходимо решить задачу согласно варианту №8. Ниже приведена таблица с данными для расчетов.

Тип РД	$V_{\text{хар}}$, м/с	M_0 , т	n_{x0}	Топливо	p_0 , МПа	n_c	φ_Σ	p_n , МПа	Парам. вариации	Диапазон вариации
Маршевые ДУ для ракетополетов первой ступени										
ЖРД	1400	30	1,2	O_2+H_2	7	80	0,93	0,03	n_c	50...100

Ход работы

1.1 Необходимые формулы

Для начала расчета приведем все необходимые формулы из методических указаний:

- Тяга двигателя: $P = \dot{m} u_a + F_a (p_a - p_n)$; или

$$P = p_0 F_{кр} K_p;$$

- Полный импульс тяги: $I_n = \int_0^{t_p} P(t) dt$;

- Удельный импульс тяги: $I_{уд} = \dot{P} / \dot{m}$;

- Секундный массовый расход: $\dot{m} = \frac{a_k p_0 F_{кр}}{\sqrt{R_z T_0}}$;

- Масса топлива: $t_p = I_n / I_{уд}$;

- Время работы двигателя: $t_p = I_n / P$;

- Коэффициент в выражении для расхода: $a_k = \sqrt{k} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}};$

- Скорость продуктов сгорания на срезе сопла:

$$u_a = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot R_z T_z \left[1 - (1/\varepsilon_c)^{(k-1)/k} \right]};$$

- Степень расширения сопла по давлению: $\varepsilon_c = p_0 / p_a$;

- Геометрическая степень расширения сопла: $n_c = F_a / F_{кр}$;

- Коэффициент тяги: $K_p = \left\{ a_k \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{1}{\varepsilon_c} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} + n_c \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - \frac{p_n}{p_0} \right) \right\};$

- Удельный импульс тяги: $I_{уд} = U_a + \frac{\sqrt{R_z T_0}}{a_k} n_c \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - \frac{p_n}{p_0} \right).$

Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата

1306.5581308.000 ПЗ

Лист

4

1.2 Решение

Теперь необходимо воспользоваться электронной таблицей MS Excel, где протабулируем все необходимые формулы.

Рассчитаем коэффициент в выражении для расхода, степень расширения сопла по давлению и коэффициент тяги, по формулам, приведенным выше.

Дано			
Двигатель	ЖРД	$a_k =$	0,644619
$V_{хар}, м/с$	1400	$\varepsilon_c =$	1057,61
$M_0, кг$	30000	$K_p =$	1,620867
n_{x0}	1,2		
$p_0, МПа$	7		
φ_z	0,93		
$p_n, МПа$	0,03		
n_c	80		
k	1,18		
$R_{гТг}, Дж/кг$	2280000		
$g, м/с$	9,8		

Рисунок 1 – Расчеты

Далее с помощью полученных данных проведем расчеты согласно заданному значению n_c .

Расчеты	
$a_k =$	0,644619
$\varepsilon_c =$	1057,61
$K_p =$	1,620867
$u_{ex} =$	4422,679 м/с
$I_{уд} =$	3796,75
$I_{удф} =$	3530,977
$I_{удп} =$	35126656
$m_{ex} =$	9251,77 кг
$P_{ex} =$	352800
$t_{ex} =$	99,56535 сек
$m =$	92,92158 кг/с
$p_{ex} =$	0,006619 Па
$F_{ex} =$	0,025666 м ²
$F_{ex} =$	2,053242 м ³
$P_{ex} =$	410962,3 Н

Рисунок 2 - Продолжение расчетов

Теперь на основе написанных формул можно составить таблицу табуляции. Для этого необходимо провести расчеты с новыми значениями n_c из диапазона 50...100 с шагом 1.

пс	а _к	а _в	К _р	а _а	И _{уд}	И _{уд} ф	И _{уд} п	т _т	Р _р	т _р	т	р _а	F _{кp}	F _a	P _е
50	0,64462	585,301	1,71152	4310,93	4009,09	3728,45	3,5E+07	8842,58	352800	100,484	88	0,01196	0,02617	1,30855	379362
51	0,64462	600,074	1,70892	4315,91	4003	3722,79	3,5E+07	8853,81	352800	100,459	88,1338	0,01167	0,02615	1,33355	380377
52	0,64462	614,923	1,70628	4320,76	3996,82	3717,04	3,5E+07	8865,24	352800	100,433	88,2702	0,01138	0,02613	1,35854	381394
53	0,64462	629,846	1,7036	4325,5	3990,55	3711,21	3,5E+07	8876,88	352800	100,407	88,4089	0,01111	0,0261	1,38351	382413
54	0,64462	644,842	1,70089	4330,13	3984,19	3705,29	3,5E+07	8888,71	352800	100,381	88,5501	0,01086	0,02608	1,40847	383433
55	0,64462	659,909	1,69813	4334,65	3977,74	3699,3	3,5E+07	8900,72	352800	100,354	88,6936	0,01061	0,02606	1,43341	384456
56	0,64462	675,048	1,69535	4339,08	3971,22	3693,23	3,5E+07	8912,92	352800	100,326	88,8393	0,01037	0,02604	1,45834	385480
57	0,64462	690,257	1,69253	4343,4	3964,61	3687,09	3,5E+07	8925,3	352800	100,299	88,9872	0,01014	0,02602	1,48326	386507
58	0,64462	705,536	1,68968	4347,63	3957,94	3680,88	3,5E+07	8937,85	352800	100,27	89,1374	0,00992	0,026	1,50816	387536
59	0,64462	720,882	1,6868	4351,77	3951,19	3674,6	3,5E+07	8950,57	352800	100,242	89,2896	0,00971	0,02598	1,53306	388568
60	0,64462	736,296	1,68389	4355,83	3944,37	3668,26	3,5E+07	8963,46	352800	100,213	89,4439	0,00951	0,02597	1,55794	389602
61	0,64462	751,777	1,68095	4359,8	3937,49	3661,86	3,5E+07	8976,5	352800	100,184	89,6003	0,00931	0,02595	1,5828	390639
62	0,64462	767,323	1,67798	4363,69	3930,54	3655,4	3,5E+07	8989,71	352800	100,154	89,7587	0,00912	0,02593	1,60766	391679
63	0,64462	782,935	1,67499	4367,5	3923,53	3648,88	3,5E+07	9003,08	352800	100,124	89,919	0,00894	0,02591	1,6325	392721
64	0,64462	798,611	1,67197	4371,24	3916,46	3642,31	3,5E+07	9016,59	352800	100,094	90,0813	0,00877	0,0259	1,65733	393766
65	0,64462	814,35	1,66893	4374,9	3909,34	3635,69	3,5E+07	9030,26	352800	100,063	90,2454	0,0086	0,02588	1,68215	394815
66	0,64462	830,152	1,66587	4378,5	3902,16	3629,01	3,5E+07	9044,07	352800	100,032	90,4115	0,00843	0,02586	1,70696	395867
67	0,64462	846,016	1,66278	4382,03	3894,93	3622,28	3,5E+07	9058,03	352800	100,001	90,5794	0,00827	0,02585	1,73176	396921
68	0,64462	861,942	1,65967	4385,49	3887,64	3615,51	3,5E+07	9072,13	352800	99,9693	90,7491	0,00812	0,02583	1,75655	397979
69	0,64462	877,928	1,65654	4388,89	3880,31	3608,69	3,5E+07	9086,37	352800	99,9374	90,9207	0,00797	0,02582	1,78133	399041
70	0,64462	893,975	1,65339	4392,23	3872,92	3601,82	3,5E+07	9100,75	352800	99,9051	91,094	0,00783	0,0258	1,80609	400106
71	0,64462	910,081	1,65021	4395,51	3865,49	3594,91	3,5E+07	9115,26	352800	99,8724	91,2691	0,00769	0,02579	1,83085	401174
72	0,64462	926,245	1,64702	4398,74	3858,02	3587,96	3,5E+07	9129,91	352800	99,8395	91,4459	0,00756	0,02577	1,8556	402247
73	0,64462	942,468	1,64381	4401,91	3850,5	3580,97	3,5E+07	9144,7	352800	99,8063	91,6244	0,00743	0,02576	1,88034	403322
74	0,64462	958,748	1,64059	4405,02	3842,94	3573,93	3,5E+07	9159,61	352800	99,7728	91,8047	0,0073	0,02574	1,90506	404402
75	0,64462	975,086	1,63734	4408,09	3835,34	3566,86	3,5E+07	9174,65	352800	99,7389	91,9867	0,00718	0,02573	1,92978	405485
76	0,64462	991,48	1,63408	4411,1	3827,7	3559,76	3,5E+07	9189,83	352800	99,7048	92,1703	0,00706	0,02572	1,95449	406573
77	0,64462	1007,93	1,6308	4414,07	3820,01	3552,61	3,5E+07	9205,12	352800	99,6704	92,3557	0,00694	0,0257	1,97919	407664
78	0,64462	1024,44	1,6275	4416,98	3812,3	3545,44	3,5E+07	9220,55	352800	99,6357	92,5427	0,00683	0,02569	2,00388	408759
79	0,64462	1041	1,62419	4419,85	3804,54	3538,22	3,5E+07	9236,1	352800	99,6006	92,7313	0,00672	0,02568	2,02857	409859
80	0,64462	1057,61	1,62087	4422,68	3796,75	3530,98	3,5E+07	9251,77	352800	99,5654	92,9216	0,00662	0,02567	2,05324	410962
81	0,64462	1074,28	1,61753	4425,46	3788,92	3523,7	3,5E+07	9267,56	352800	99,5298	93,1135	0,00652	0,02565	2,07791	412070
82	0,64462	1091	1,61417	4428,2	3781,07	3516,39	3,5E+07	9283,48	352800	99,4939	93,307	0,00642	0,02564	2,10256	413182
83	0,64462	1107,77	1,6108	4430,9	3773,17	3509,05	3,5E+07	9299,52	352800	99,4578	93,5022	0,00632	0,02563	2,12721	414299
84	0,64462	1124,6	1,60742	4433,56	3765,25	3501,68	3,5E+07	9315,67	352800	99,4213	93,6989	0,00622	0,02562	2,15185	415420
85	0,64462	1141,48	1,60402	4436,18	3757,3	3494,29	3,5E+07	9331,95	352800	99,3846	93,8973	0,00613	0,02561	2,17649	416545
86	0,64462	1158,41	1,60062	4438,76	3749,31	3486,86	3,5E+07	9348,34	352800	99,3477	94,0973	0,00604	0,02559	2,20111	417675
87	0,64462	1175,39	1,59719	4441,31	3741,3	3479,41	3,5E+07	9364,85	352800	99,3104	94,2988	0,00596	0,02558	2,22573	418810
88	0,64462	1192,42	1,59376	4443,81	3733,26	3471,93	3,5E+07	9381,48	352800	99,2729	94,5019	0,00587	0,02557	2,25034	419949
89	0,64462	1209,51	1,59032	4446,29	3725,19	3464,42	3,5E+07	9398,22	352800	99,2351	94,7067	0,00579	0,02556	2,27494	421093
90	0,64462	1226,64	1,58686	4448,73	3717,09	3456,89	3,5E+07	9415,08	352800	99,197	94,913	0,00571	0,02555	2,29953	422242
91	0,64462	1243,82	1,58339	4451,13	3708,97	3449,34	3,5E+07	9432,06	352800	99,1587	95,1209	0,00563	0,02554	2,32412	423396
92	0,64462	1261,05	1,57991	4453,51	3700,82	3441,76	3,5E+07	9449,15	352800	99,1201	95,3303	0,00555	0,02553	2,3487	424554
93	0,64462	1278,33	1,57642	4455,85	3692,64	3434,16	3,5E+07	9466,35	352800	99,0812	95,5414	0,00548	0,02552	2,37327	425718
94	0,64462	1295,65	1,57292	4458,16	3684,44	3426,53	3,5E+07	9483,67	352800	99,042	95,754	0,0054	0,02551	2,39784	426886
95	0,64462	1313,03	1,56941	4460,44	3676,22	3418,88	3,5E+07	9501,1	352800	99,0026	95,9682	0,00533	0,0255	2,4224	428060
96	0,64462	1330,45	1,56589	4462,69	3667,97	3411,21	3,5E+07	9518,65	352800	98,9629	96,184	0,00526	0,02549	2,44695	429239
97	0,64462	1347,92	1,56236	4464,91	3659,7	3403,52	3,5E+07	9536,3	352800	98,9229	96,4013	0,00519	0,02548	2,4715	430423
98	0,64462	1365,44	1,55882	4467,1	3651,41	3395,81	3,5E+07	9554,07	352800	98,8827	96,6203	0,00513	0,02547	2,49603	431613
99	0,64462	1383	1,55527	4469,27	3643,09	3388,08	3,5E+07	9571,96	352800	98,8422	96,8408	0,00506	0,02546	2,52057	432807
100	0,64462	1400,61	1,55171	4471,41	3634,76	3380,33	3,5E+07	9589,95	352800	98,8015	97,0628	0,005	0,02545	2,54509	434008

Рисунок 3 - Протабулированные данные

Построим графики зависимостей степени расширения по давлению (Рисунок 4), скорости истечения продуктов сгорания u_a (Рисунок 5), удельного импульса тяги $I_{уд}$ (Рисунок 6) и тяги двигателя от геометрической степени расширения сопла (Рисунок 7).



Рисунок 4 - Зависимость расширения сопла по давлению от геометрической степени расширения сопла



Рисунок 5 - Зависимость скорости сопла по давлению от геометрической степени расширения сопла



Рисунок 6 - Зависимость удельного импульса тяги от геометрической степени расширения сопла

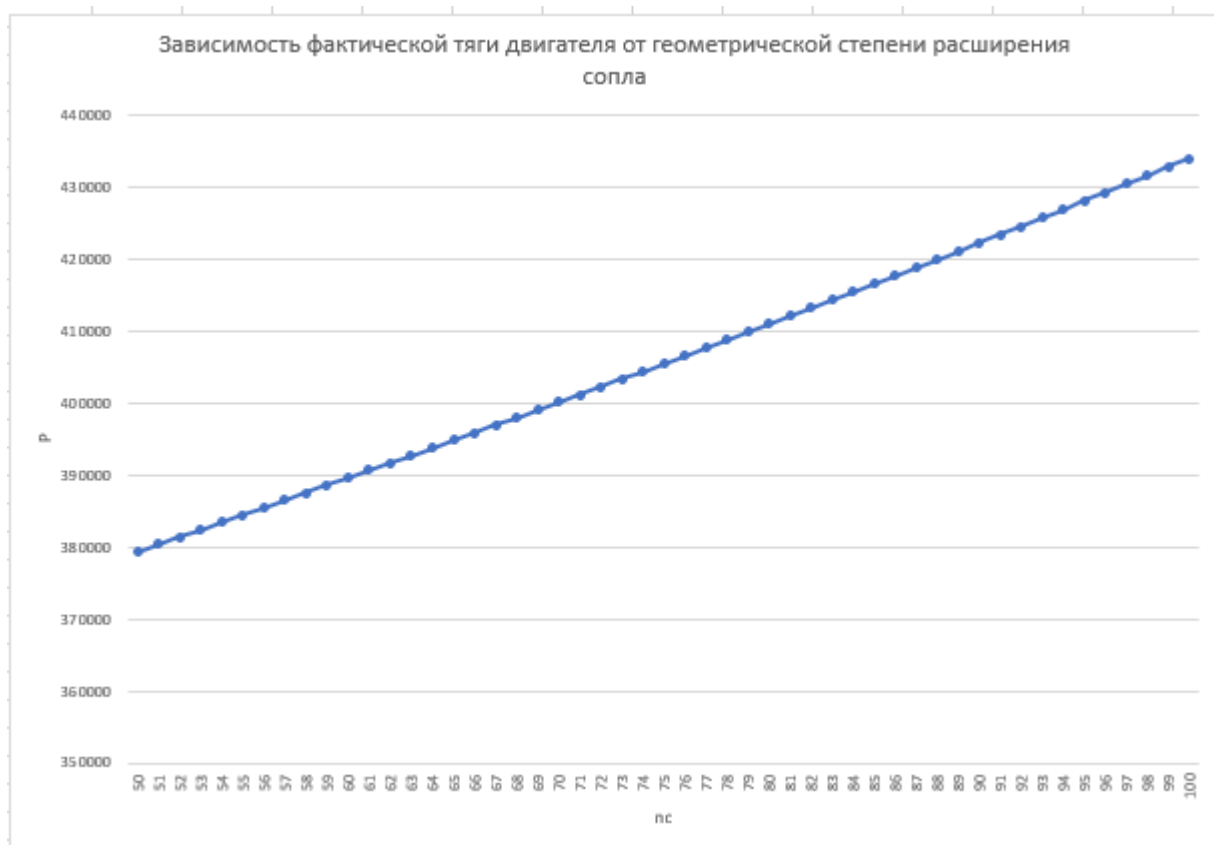


Рисунок 7 - Зависимость фактической тяги двигателя от геометрической степени расширения сопла

Из построенных графиков можно сделать вывод, что зависимость степени расширения по давлению имеет положительный линейный характер, скорости истечения продуктов сгорания u_a и тяги двигателя – экспоненциальный, удельного импульса тяги $I_{уд}$ – отрицательный линейный.

					1306.5581308.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата		9

Заключение

В результате выполнения лабораторной работы № 13 были рассчитаны следующие параметры:

- скорость продуктов сгорания на срезе сопла $u_a = 4422,68$ м/с;
- идеальное и реальное значения удельного импульса тяги $I_{уд} = 3796,75$ м/с и $I_{уд\text{ реал}} = I \cdot \varphi_{\Sigma} = 3530,98$ м/с;
- полный импульс тяги $I_{п} = 35126656,11$ м/с;
- масса топлива $m_T = 9251,77$ кг;
- секундный массовый расход $m = 92,921$ кг/с;
- тягу двигателя $P = 352800$ Н;
- время работы $t_p = 99,57$ с;
- площади критического и выходного сечения сопла $F_{кр} = 0,026$ м² и $F_a = 2,053$ м²;
- давление продуктов сгорания на срезе сопла $p_a = 0,00662$ МПа.

Были построены графики зависимостей степени расширения по давлению, скорости истечения продуктов сгорания u_a , удельного импульса тяги $I_{уд}$ и тяги двигателя от геометрической степени расширения сопла.

Из построенных графиков можно сделать вывод, что зависимость степени расширения по давлению имеет положительный линейный характер, скорости истечения продуктов сгорания u_a и тяги двигателя – экспоненциальный, удельного импульса тяги $I_{уд}$ – отрицательный линейный.

Список литературы

1. Расчет параметров и характеристик ракетных двигателей/ В.П. Белов;
Балт. гос. техн. ун-т. – Спб., 2013 – 47 с.

					1306.5581308.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата		11