



Московский государственный технический университет
радиотехники, электроники и автоматики
(МГТУ МИРЭА)

Институт высоких технологий

Кафедра «Теплофизические приборы и аппараты»

Дисциплина (модуль) «Информационные технологии
в АКТ»

Курсовая Работа

Тема: “Расчет параметров двигателя на квазистационарных режимах”

Вариант №4

Выполнил студент группы ВТ7 - 1201

_____ / А.Л. Чукаева /

Отметка о защите _____

Преподаватель каф. ВТ-7

_____ / В.В. Кадомкин /

Курсовая работа

Тема: Расчет параметров двигателя на квазистационарных режимах

Цель работы: В данной работе выполняется расчет на ПЭВМ параметров рабочих процессов двигателя с заданной начальной формой заряда. По результатам расчетов определяется изменение во площади поверхности горения, давление в камере сгорания, параметры потока по длине сопла и изменение тяги двигателя во время работы РДТТ.

Общие положения и теоретические сведения

На стационарном режиме работы РДТТ в каждый момент времени устанавливается баланс между приходом продуктов сгорания от твердого топлива и расходом продуктов сгорания через сопло. Учитывая, что поверхность горения заряда ТТ (в общем случае) не остается величиной постоянной, то баланс массы для продуктов сгорания в газовом объеме КС должен описываться дифференциальным уравнением вида

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho V_k)}{dt} = P_T - G_c \quad (1)$$

где масса продуктов сгорания в КС, плотность продуктов сгорания, свободный объем камеры сгорания, секундный массовый приход продуктов приходом продуктов сгорания от твердого топлива, расход продуктов через выходное сопло.

При запуске двигателя давление в камере сгорания постепенно нарастает до тех пор, пока не достигнет некоторого заданного уровня, что эквивалентно накоплению массы газа и энергии в газовой зоне камеры сгорания. Приход продуктов при запуске двигателя превышает расход продуктов сгорания через сопло и этому, в частности, способствует дополнительный приход продуктов сгорания при работе воспламенителя.

При выходе на стационарный режим приход и расход продуктов уравновешивают друг друга. Приход и расход продуктов сгорания будет в процессе работы двигателя изменяться в определенных пределах, на характерные времена установления режима в КС часто гораздо меньше характерных времен изменения параметров рабочего процесса. Это относится к основным режимам работы (стационарным или квазистационарным) и должно быть получено соотношение, позволяющее найти параметры для расчета стационарные режимы энергосистем.

Приход продуктов в камере сгорания определяется массой сгоревшего топлива за единицу времени:

$$P_t = V_g * \rho_T \quad (2)$$

$$V_g = S_g * u \quad (3)$$

$$P_t = \rho_T * S_g * u, \quad (4)$$

где объем сгоревшего топлива в единицу времени, плотность топлива, скорость горения ТТ.

Скорость химических реакций существенно зависит от давления. Из-за сложного механизма взаимодействия газовой и конденсированной зон, конкурирующих процессов тепло-массопереноса для описания процесса горения твердого топлива часто используют эмпирические законы для скорости горения. В частности, для зависимости скорости горения топлива от давления может быть использован степенной закон для скорости горения:

$$u = u_1 * \left(\frac{P_k}{P_1}\right)^v = u(P_k) \quad (5)$$

где p_1 – некоторый выбранный уровень давления, который является характерным для работы топлива данного типа. В качестве уровня давления могут быть выбраны и стандартные условия для атмосферы, хотя при этих условиях топлива могут не гореть, и выполнятся просто перерасчет имеющихся данных о скорости горения к стандартным условиям.

$$u = u_{10} * \left(\frac{P_k}{P_0}\right)^v = u_1 * \left(\frac{P_k}{P_1}\right)^v \quad (6)$$

$$u_{10} = u_1 * \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^v \quad (7)$$

Часто используют приведенные скорости горения к стандартным условиям, но при этом оговаривают диапазон применения соотношений по давлению. Уравнение прихода газа запишем

$$P_T = \rho * S_g * u_1 * \left(\frac{P_k}{P_0}\right)^v \quad (8)$$

Учитывая, что выходное сопло РДТТ после выхода двигателя на режим работает в режиме критическом или сверхкритическом режиме истечения, то расход продуктов через сопло определяется соотношением:

$$G_{nozzle} = \frac{P_k F_{kr}}{\beta} \quad (9)$$

где β - расходный комплекс (имеет размерность скорости и для топлив принимает значение порядка 1400 – 1800 м/с).

Учитывая, что выполняется баланс между приходом и расходом продуктов, получил

$$\rho_T * S_g * u_1 * (\frac{P_k}{P_0})^v = \frac{P_k * F_{kr}}{\beta} \tag{10}$$

Из этого уравнения можем найти соотношение для расчета давления в камере сгорания рк, которое позволит по конструктивным параметрам энергосистемы и свойствам топлива найти параметры рабочего процесса на стационарных режимах.

Коэффициент в степенном законе горения может изменяться в диапазоне от 0 до 1. Большие значения ν соответствуют специальным топливам, используемых для в РДТТ с глубоким регулирования двигателя по тяге. Для обычных топлив ν принимает значения порядка 0,2...0,5. Выполняем необходимые преобразования в уравнении баланса расхода

$$P_k^\nu * \frac{\rho_T * S_g * u_1}{P_0^\nu} = \frac{P_k * F_{kr}}{\beta} \tag{11}$$

$$P_k^{\nu-1} * \frac{\rho_T * S_g * u_1 * \beta}{F_{kr} * P_0^\nu} \tag{12}$$

и получаем формулу Бори

$$P_k = (\frac{\rho_T * S_g * u_1 * \beta}{F_{kr} * P_0^\nu})^{\frac{1}{1-\nu}} \tag{13}$$

Данное соотношение используется для определения основных параметров двигателя на расчетных режимах, для анализа возможностей регулирования двигателя, анализа возможных изменений параметров при нештатных режимах работы, оценок изменения параметров рабочих процессов в зависимости от технологических разбросов, по мере разгара критического сечения сопла и т.д..

Данные варианта:

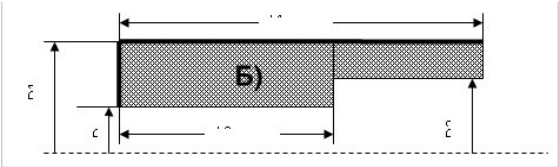


Рис. №1: Форма заряда по варианту

N1	N2	N3	N4
Б	А	В	А

Исходные данные

Таблица №2: Исходные данные

Parameter	Value	Dimension	Index	Designation	Size	SI
Dimensions charge						
Length	1.500000	m	1	L10	1.500000	m
	1	m	1	L20	1	m
Diam	0.500000	m	1	D10	0.500000	m
	0.250000	m	1	D20	0.250000	m
	0.300000	m	1	D30	0.300000	m
Data on fuel and combustion products						
The burning rate	2	mm/s	0	u	0.002000	m/s
The index rate	0.200000	-	1	ν	0.200000	-
The base pressure for the unit speed	100000	Pascal	1	P_0	100000	Pascal
Indicator isentrope combustion	1.200000	-	1	k	1.200000	-
Calculated value of the pressure in the CC	14	MPascal	1000000	P_k	14000000	Pascal
Estimated value of the pressure at the nozzle exit	20	kPascal	1000	P_a	20000	Pascal
The temperature in the combustion chamber	3100	K	1	T_k	3100	K
Molar Mass	35	mole	1	μ	35	mole
The specific gas constant				R_{spec}	237.542857	J/(kg*K)
Fuel Density	1600	kg/m ³	1	ρ	1600	kg/m ³
The time step	0.120000	-	1	h	0.120000	
Consumables complex				β	1449.477917	
Critical speed of sound				A_{kr}	896.284973	
Throat area				F_{kr}	0.001362	m ²
The diameter of the critical cross-section				D_{kr}	0.041637	
The geometry of the subsonic part of the nozzle: conical						
Angle	50	grade		ϕ_1	0.872665	radians
The geometry of the supersonic part of the nozzle: conical						
Angle	20	grade		ϕ_2	0.349066	radians

The calculated data

Table N°3: The calculated data

The diameter at the nozzle exit				D_a	0.305840	m
Cross-sectional area at the nozzle exit				F_a	0.073462	m^2
Area ratio				Fkr/Fa	0.018534	-
Maximum dimensionless speed				λ_{max}	3.316625	-
The dimensionless speed				λ	2.703413	-
Speed at the nozzle exit				ν_a	2423.028494	-
Gas-dynamic functions				$\pi(\lambda)$	0.001429	-
Gas-dynamic functions				$\varepsilon(\lambda)$	0.004257	-
Gas-dynamic functions				$q(\lambda)$	0.018534	-
The difference to the $\pi(\lambda * a) - P_a / P_k$					0.001429	-
The difference to the $q(\lambda * a) - F_{kr} / F_a$					0.000000	-
The length of the subsonic part of the nozzle				L_{bpn}	0.192306	m
The length of the supersonic part of the nozzle				L_{apn}	0.362947	m

Dimensioning for quasi-stationary mode

Table N^o3: The calculated data

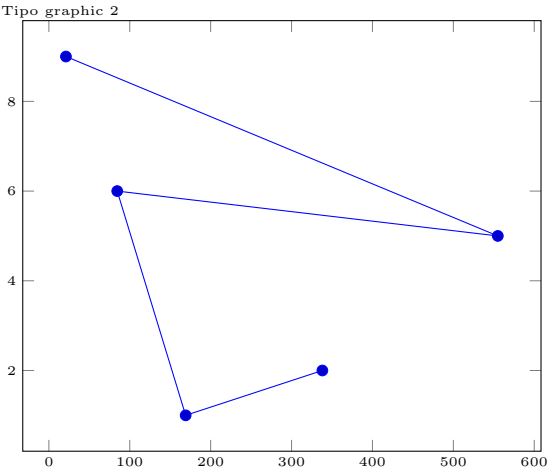
t	li	D ₂₀	D ₃₀	L ₁₀	L ₂₀	L ₃₀	S ₁₀	S ₂₀	S ₃₀	S ₄₀	S _g	pk	G _c	pa	I _{spec}	P	u _{PK}
0.000000	0.000000	0.250000	0.300000	1.500000	1.000000	0.500000	0.785398	0.147262	0.471239	0.125664	1.529563	13999999	13.150520	20000.000819	2423.028499	31864.084806	0.005373
0.120000	0.000645	0.251290	0.301290	1.499355	0.999355	0.500000	0.788941	0.146754	0.473265	0.125055	1.534014	14050948	13.198377	20072.783904	2423.433611	31985.389948	0.005377
0.240000	0.001290	0.252580	0.302580	1.498710	0.998710	0.500000	0.792480	0.146244	0.475292	0.124443	1.538459	14101850	13.246191	20145.501530	2423.835436	32106.585991	0.005381
0.360000	0.001936	0.253872	0.303872	1.498064	0.998064	0.500000	0.796018	0.145730	0.477321	0.123827	1.542895	14152706	13.293961	20218.152752	2424.234008	32227.671362	0.005385
0.480000	0.002582	0.255164	0.305164	1.497418	0.997418	0.500000	0.799552	0.145213	0.479351	0.123209	1.547325	14203515	13.341686	20290.736630	2424.629359	32348.644493	0.005389
0.600000	0.003229	0.256458	0.306458	1.496771	0.996771	0.500000	0.803084	0.144694	0.481382	0.122588	1.551747	14254275	13.389367	20363.252226	2425.021525	32469.503819	0.005393
0.720000	0.003876	0.257752	0.307752	1.496124	0.996124	0.500000	0.806613	0.144171	0.483415	0.121964	1.556162	14304988	13.437003	20435.698603	2425.410537	32590.247781	0.005397
0.840000	0.004524	0.259047	0.309047	1.495476	0.995476	0.500000	0.810139	0.143645	0.485450	0.121336	1.560570	14355651	13.484592	20508.074830	2425.796427	32710.874825	0.005401
0.960000	0.005172	0.260343	0.310343	1.494828	0.994828	0.500000	0.813662	0.143116	0.487486	0.120706	1.564970	14406265	13.532134	20580.379975	2426.179229	32831.383401	0.005404
1.080000	0.005820	0.261640	0.311640	1.494180	0.994180	0.500000	0.817183	0.142585	0.489523	0.120072	1.569363	14456828	13.579630	20652.613113	2426.558973	32951.771964	0.005408
1.200000	0.006469	0.262938	0.312938	1.493531	0.993531	0.500000	0.820701	0.142050	0.491562	0.119435	1.573748	14507340	13.627077	20724.773317	2426.935690	33072.038973	0.005412
1.320000	0.007118	0.264237	0.314237	1.492882	0.992882	0.500000	0.824216	0.141512	0.493602	0.118796	1.578126	14557801	13.674475	20796.859668	2427.309412	33192.182891	0.005416
1.440000	0.007768	0.265537	0.315537	1.492232	0.992232	0.500000	0.827728	0.140971	0.495644	0.118153	1.582496	14608209	13.721825	20868.871246	2427.680168	33312.202187	0.005419
1.560000	0.008419	0.266837	0.316837	1.491581	0.991581	0.500000	0.831237	0.140427	0.497687	0.117507	1.586858	14658564	13.769125	20940.807134	2428.047989	33432.095334	0.005423
1.680000	0.009069	0.268139	0.318139	1.490931	0.990931	0.500000	0.834743	0.139881	0.499731	0.116858	1.591213	14708865	13.816374	21012.666419	2428.412903	33551.860810	0.005427
1.800000	0.009721	0.269441	0.319441	1.490279	0.990279	0.500000	0.838247	0.139331	0.501777	0.116205	1.595560	14759113	13.863572	21084.448191	2428.774941	33671.497097	0.005431
1.920000	0.010372	0.270745	0.320745	1.489628	0.989628	0.500000	0.841747	0.138778	0.503825	0.115550	1.599899	14809305	13.910719	21156.151542	2429.134130	33791.002682	0.005434
2.040000	0.011024	0.272049	0.322049	1.488976	0.988976	0.500000	0.845245	0.138222	0.505873	0.114892	1.604231	14859442	13.957814	21227.775566	2429.490499	33910.376055	0.005438
2.160000	0.011677	0.273354	0.323354	1.488323	0.988323	0.500000	0.848739	0.137663	0.507923	0.114230	1.608555	14909522	14.004856	21299.319361	2429.844077	34029.615714	0.005442
2.280000	0.012330	0.274660	0.324660	1.487670	0.987670	0.500000	0.852230	0.137101	0.509975	0.113565	1.612871	14959546	14.051844	21370.782027	2430.194890	34148.720157	0.005445
2.400000	0.012983	0.275967	0.325967	1.487017	0.987017	0.500000	0.855719	0.136535	0.512027	0.112898	1.617179	15009513	14.098779	21442.162667	2430.542966	34267.687891	0.005449
2.520000	0.013637	0.277275	0.327275	1.486363	0.986363	0.500000	0.859204	0.135967	0.514082	0.112227	1.621480	15059421	14.145659	21513.460386	2430.888332	34386.517423	0.005452
2.640000	0.014292	0.278583	0.328583	1.485708	0.985708	0.500000	0.862687	0.135396	0.516137	0.111553	1.625772	15109271	14.192484	21584.674294	2431.231014	34505.207270	0.005456
2.760000	0.014946	0.279893	0.329893	1.485054	0.985054	0.500000	0.866166	0.134822	0.518194	0.110875	1.630057	15159061	14.239253	21655.803500	2431.571039	34623.755947	0.005460
2.880000	0.015601	0.281203	0.331203	1.484399	0.984399	0.500000	0.869642	0.134244	0.520252	0.110195	1.634334	15208792	14.285966	21726.847120	2431.908433	34742.161980	0.005463
3.000000	0.016257	0.282514	0.332514	1.483743	0.983743	0.500000	0.873115	0.133664	0.522312	0.109512	1.638602	15258462	14.332622	21797.804269	2432.243221	34860.423895	0.005467
3.120000	0.016913	0.283826	0.333826	1.483087	0.983087	0.500000	0.876585	0.133080	0.524373	0.108825	1.642863	15308071	14.379221	21868.674066	2432.575428	34978.540223	0.005470
3.240000	0.017569	0.285139	0.335139	1.482431	0.982431	0.500000	0.880052	0.132493	0.526435	0.108135	1.647115	15357618	14.425762	21939.455633	2432.905079	35096.509502	0.005474
3.360000	0.018226	0.286453	0.336453	1.481774	0.981774	0.500000	0.883515	0.131904	0.528499	0.107442	1.651360	15407103	14.472244	22010.148095	2433.232199	35214.330272	0.005477
3.480000	0.018884	0.287767	0.337767	1.481116	0.981116	0.500000	0.886976	0.131311	0.530564	0.106746	1.655596	15456524	14.518667	22080.750579	2433.556812	35332.001079	0.005481
3.600000	0.019541	0.289083	0.339083	1.480459	0.980459	0.500000	0.890433	0.130715	0.532630	0.106047	1.659824	15505882	14.565030	22151.262214	2433.878942	35449.520472	0.005484
3.720000	0.020199	0.290399	0.340399	1.479801	0.979801	0.500000	0.893887	0.130116	0.534697	0.105344	1.664044	15555176	14.611333	22221.682134	2434.198613	35566.887006	0.005488
3.840000	0.020858	0.291716	0.341716	1.479142	0.979142	0.500000	0.897338	0.129514	0.536766	0.104639	1.668256	15604405	14.657575	22292.009474	2434.515847	35684.099238	0.005491
3.960000	0.021517	0.293034	0.343034	1.478483	0.978483	0.500000	0.900785	0.128908	0.538836	0.103930	1.672460	15653569	14.703756	22362.243371	2434.830669	35801.155733	0.005495
4.080000	0.022176	0.294353	0.344353	1.477824	0.977824	0.500000	0.904229	0.128300	0.540908	0.103218	1.676655	15702667	14.749874	22432.382965	2435.143101	35918.055058	0.005498
4.200000	0.022836	0.295672	0.345672	1.477164	0.977164	0.500000	0.907670	0.127688	0.542981	0.102503	1.680842	15751698	14.795931	22502.427401	2435.453165	36034.795784	0.005502
4.320000	0.023496	0.296993	0.346993	1.476504	0.976504	0.500000	0.911107	0.127074	0.545055	0.101785	1.685020	15800662	14.841923	22572.375823	2435.760884	36151.376489	0.005505
4.440000	0.024157	0.298314	0.348314	1.475843	0.975843	0.500000	0.914541	0.126456	0.547130	0.101063	1.689191	15849558	14.887853	22642.227381	2436.066279	36267.795752	0.005509
4.560000	0.024818	0.299636	0.349636	1.475182	0.975182	0.500000	0.917972	0.125835	0.549207	0.100338	1.693352	15898386	14.933718	22711.981226	2436.369373	36384.052160	0.005512
4.680000	0.025479	0.300959	0.350959	1.474521	0.974521	0.500000	0.921399	0.125211	0.551285	0.099610	1.697506	15947144	14.979518	22781.636510	2436.670186	36500.144301	0.005515
4.800000	0.026141	0.302282	0.352282	1.473859	0.973859	0.500000	0.924823	0.124584	0.553364	0.098879	1.701651	15995834	15.025253	22851.192392	2436.968740	36616.070770	0.005519
4.920000	0.026803	0.303607	0.353607	1.473197	0.973197	0.500000	0.928244	0.123954	0.555444	0.098145	1.705787	16044452	15.070921	22920.648028	2437.265056	36731.830165	0.005522
5.040000	0.027466	0.304932	0.354932	1.472534	0.972534	0.500000	0.931661	0.123320	0.557526	0.097408	1.709915	16093001	15.116524	22990.002582	2437.559154	36847.421089	0.005525
5.160000	0.028129	0.306258	0.356258	1.471871	0.971871	0.500000	0.935075	0.122684	0.559609	0.096667	1.714034	16141477	15.162059	23059.255218	2437.851054	36962.842148	0.005529
5.280000	0.028793	0.307585	0.357585	1.471207	0.971207	0.500000	0.938485	0.122044	0.561693	0.095923	1.718145	16189882	15.207527	23128.405102	2438.140777	37078.091955	0.005532
5.400000	0.029456	0.308913	0.358913	1.470544	0.970544	0.500000	0.941891	0.121401	0.563779	0.095176	1.722247	16238215	15.252927	23197.451404	2438.428343	37193.169126	0.005535
5.520000	0.030121	0.310241	0.360241	1.469879	0.969879	0.500000	0.945295	0.120755	0.565866	0.094425	1.726341	16286474	15.298258	23266.393297	2438.713771	37308.072280	0.005539
5.640000	0.030785	0.311571	0.361571	1.469215	0.969215	0.500000	0.948694	0.120106	0.567954	0.093672	1.730426	16334660	15.343520	23335.229954	2438.997081	37422.800042	0.005542
5.760000	0.031450	0.312901															

t	li	D_{20}	D_{30}	L_{10}	L_{20}	L_{30}	S_{10}	S_{20}	S_{30}	S_{40}	Sg	pk	G_c	pa	I_{spec}	P	uPk
7.560000	0.041472	0.332943	0.382943	1.458528	0.958528	0.500000	1.002594	0.109287	0.601526	0.081174	1.794582	17095148	16.057863	24421.641161	2443.256889	39233.485391	0.005592
7.680000	0.042143	0.334286	0.384286	1.457857	0.957857	0.500000	1.005931	0.108584	0.603634	0.080366	1.798515	17141994	16.101868	24488.565074	2443.506939	39345.025246	0.005596
7.800000	0.042814	0.335628	0.385628	1.457186	0.957186	0.500000	1.009264	0.107877	0.605744	0.079554	1.802439	17188757	16.145793	24555.369340	2443.755182	39456.365689	0.005599
7.920000	0.043486	0.336972	0.386972	1.456514	0.956514	0.500000	1.012594	0.107167	0.607854	0.078738	1.806353	17235436	16.189640	24622.053183	2444.001634	39567.505428	0.005602
8.040000	0.044158	0.338317	0.388317	1.455842	0.955842	0.500000	1.015919	0.106454	0.609966	0.077920	1.810259	17282030	16.233406	24688.615830	2444.246311	39678.443173	0.005605
8.160000	0.044831	0.339662	0.389662	1.455169	0.955169	0.500000	1.019240	0.105738	0.612079	0.077098	1.814155	17328538	16.277093	24755.056509	2444.489227	39789.177639	0.005608
8.280000	0.045504	0.341007	0.391007	1.454496	0.954496	0.500000	1.022558	0.105019	0.614193	0.076272	1.818042	17374961	16.320698	24821.374453	2444.730397	39899.707545	0.005611
8.400000	0.046177	0.342354	0.392354	1.453823	0.953823	0.500000	1.025872	0.104296	0.616308	0.075444	1.821920	17421297	16.364223	24887.568894	2444.969837	40010.031615	0.005614
8.520000	0.046851	0.343701	0.393701	1.453149	0.953149	0.500000	1.029182	0.103570	0.618425	0.074612	1.825788	17467546	16.407666	24953.639070	2445.207560	40120.148575	0.005617
8.640000	0.047525	0.345049	0.395049	1.452475	0.952475	0.500000	1.032487	0.102841	0.620542	0.073777	1.829647	17513708	16.451026	25019.584220	2445.443582	40230.057157	0.005620
8.760000	0.048199	0.346398	0.396398	1.451801	0.951801	0.500000	1.035789	0.102108	0.622661	0.072939	1.833497	17559781	16.494304	25085.403584	2445.677916	40339.756099	0.005623
8.880000	0.048874	0.347747	0.397747	1.451126	0.951126	0.500000	1.039087	0.101373	0.624780	0.072097	1.837337	17605766	16.537499	25151.096408	2445.910576	40449.244139	0.005625
9.000000	0.049549	0.349098	0.399098	1.450451	0.950451	0.500000	1.042381	0.100634	0.626901	0.071252	1.841168	17651662	16.580610	25216.661938	2446.141577	40558.520022	0.005628
9.120000	0.050224	0.350448	0.400448	1.449776	0.949776	0.500000	1.045671	0.099892	0.629023	0.070404	1.844989	17697468	16.623637	25282.099423	2446.370932	40667.582498	0.005631
9.240000	0.050900	0.351800	0.401800	1.449100	0.949100	0.500000	1.048957	0.099146	0.631146	0.069552	1.848801	17743184	16.666579	25347.408115	2446.598655	40776.430318	0.005634
9.360000	0.051576	0.353152	0.403152	1.448424	0.948424	0.500000	1.052238	0.098398	0.633270	0.068698	1.852603	17788810	16.709436	25412.587269	2446.824760	40885.062241	0.005637
9.480000	0.052253	0.354505	0.404505	1.447747	0.947747	0.500000	1.055516	0.097646	0.635395	0.067839	1.856396	17834344	16.752208	25477.636140	2447.049259	40993.477026	0.005640
9.600000	0.052929	0.355859	0.405859	1.447071	0.947071	0.500000	1.058790	0.096890	0.637521	0.066978	1.860179	17879787	16.794893	25542.553989	2447.272166	41101.673441	0.005643
9.720000	0.053606	0.357213	0.407213	1.446394	0.946394	0.500000	1.062059	0.096132	0.639649	0.066113	1.863953	17925137	16.837491	25607.340076	2447.493493	41209.650254	0.005646
9.840000	0.054284	0.358568	0.408568	1.445716	0.945716	0.500000	1.065325	0.095370	0.641777	0.065245	1.867717	17970394	16.880003	25671.993667	2447.713255	41317.406239	0.005649
9.960000	0.054962	0.359924	0.409924	1.445038	0.945038	0.500000	1.068586	0.094605	0.643906	0.064373	1.871471	18015559	16.922426	25736.514029	2447.931463	41424.940175	0.005651
10.080000	0.055640	0.361280	0.411280	1.444360	0.944360	0.500000	1.071843	0.093837	0.646037	0.063499	1.875216	18060629	16.964762	25800.900430	2448.148129	41532.250844	0.005654
10.200000	0.056318	0.362637	0.412637	1.443682	0.943682	0.500000	1.075096	0.093065	0.648169	0.062620	1.878951	18105605	17.007009	25865.152142	2448.363268	41639.337032	0.005657
10.320000	0.056997	0.363995	0.413995	1.443003	0.943003	0.500000	1.078345	0.092290	0.650301	0.061739	1.882676	18150487	17.049168	25929.268441	2448.576890	41746.197529	0.005660
10.440000	0.057677	0.365353	0.415353	1.442323	0.942323	0.500000	1.081590	0.091512	0.652435	0.060854	1.886391	18195273	17.091236	25993.248602	2448.789007	41852.831131	0.005663
10.560000	0.058356	0.366712	0.416712	1.441644	0.941644	0.500000	1.084830	0.090731	0.654570	0.059966	1.890097	18239963	17.133215	26057.091905	2448.999633	41959.236637	0.005665
10.680000	0.059036	0.368072	0.418072	1.440964	0.940964	0.500000	1.088066	0.089946	0.656706	0.059075	1.893793	18284557	17.175103	26120.797633	2449.208779	42065.412850	0.005668
10.800000	0.059716	0.369432	0.419432	1.440284	0.940284	0.500000	1.091298	0.089158	0.658842	0.058180	1.897479	18329054	17.216900	26184.365068	2449.416456	42171.358576	0.005671
10.920000	0.060397	0.370793	0.420793	1.439603	0.939603	0.500000	1.094526	0.088367	0.660980	0.057282	1.901155	18373454	17.258606	26247.793499	2449.622677	42277.072628	0.005674
11.040000	0.061077	0.372155	0.422155	1.438923	0.938923	0.500000	1.097750	0.087572	0.663119	0.056380	1.904822	18417756	17.300220	26311.082215	2449.827452	42382.553821	0.005676
11.160000	0.061759	0.373517	0.423517	1.438241	0.938241	0.500000	1.100969	0.086775	0.665259	0.055475	1.908478	18461960	17.341742	26374.230507	2450.030793	42487.800974	0.005679
11.280000	0.062440	0.374880	0.424880	1.437560	0.937560	0.500000	1.104184	0.085973	0.667400	0.054567	1.912125	18506065	17.383170	26437.237670	2450.232712	42592.812913	0.005682
11.400000	0.063122	0.376244	0.426244	1.436878	0.936878	0.500000	1.107395	0.085169	0.669542	0.053655	1.915761	18550071	17.424506	26500.103001	2450.433220	42697.588464	0.005685
11.520000	0.063804	0.377608	0.427608	1.436196	0.936196	0.500000	1.110601	0.084361	0.671685	0.052740	1.919388	18593977	17.465748	26562.825798	2450.632327	42802.126460	0.005687
11.640000	0.064487	0.378973	0.428973	1.435513	0.935513	0.500000	1.113803	0.083550	0.673829	0.051822	1.923005	18637782	17.506896	26625.405365	2450.830044	42906.425738	0.005690
11.760000	0.065169	0.380339	0.430339	1.434831	0.934831	0.500000	1.117000	0.082736	0.675974	0.050901	1.926611	18681487	17.547949	26687.841004	2451.026383	43010.485137	0.005693
11.880000	0.065852	0.381705	0.431705	1.434148	0.934148	0.500000	1.120194	0.081918	0.678121	0.049976	1.930208	18725091	17.588907	26750.132023	2451.221353	43114.303503	0.005695
12.000000	0.066536	0.383072	0.433072	1.433464	0.933464	0.500000	1.123383	0.081097	0.680268	0.049047	1.933794	18768593	17.629769	26812.277732	2451.414966	43217.879684	0.005698
12.120000	0.067220	0.384439	0.434439	1.432780	0.932780	0.500000	1.126567	0.080273	0.682416	0.048115	1.937371	18811993	17.670535	26874.277441	2451.607232	43321.212532	0.005701
12.240000	0.067904	0.385807	0.435807	1.432096	0.932096	0.500000	1.129747	0.079445	0.684565	0.047180	1.940937	18855290	17.711205	26936.130465	2451.798161	43424.300906	0.005703
12.360000	0.068588	0.387176	0.437176	1.431412	0.931412	0.500000	1.132923	0.078614	0.686715	0.046242	1.944494	18898484	17.751779	26997.836121	2451.987763	43527.143666	0.005706
12.480000	0.069273	0.388546	0.438546	1.430727	0.930727	0.500000	1.136094	0.077780	0.688866	0.045300	1.948040	18941574	17.792254	27059.393727	2452.176049	43629.739677	0.005708
12.600000	0.069958	0.389916	0.439916	1.430042	0.930042	0.500000	1.139261	0.076942	0.691018	0.044355	1.951576	18984561	17.832632	27120.802607	2452.363028	43732.087809	0.005711
12.720000	0.070643	0.391286	0.441286	1.429357	0.929357	0.500000	1.142423	0.076101	0.693171	0.043406	1.955101	19027442	17.872912	27182.062082	2452.548710	43834.186935	0.005714
12.840000	0.071329	0.392657	0.442657	1.428671	0.928671	0.500000	1.145581	0.075257	0.695325	0.042454	1.958617	19070219	17.913093	27243.171481	2452.733106	43936.035933	0.005716
12.960000	0.072015	0.394029	0.444029	1.427985	0.927985	0.500000	1.148734	0.074409	0.697480	0.041499	1.962122	19112890	17.953175	27304.130131	2452.916225	44037.633684	0.005719
13.080000	0.072701	0.395402	0.445402	1.427299	0.927299	0.500000	1.151883	0.073558	0.699636	0.040540	1.965617	19155455	17.993157	27364.937365	2453.098075	44138.979074	0.005721
13.200000	0.073387	0.396775	0.446775	1.426613	0.926613	0.500000	1.155027	0.072704	0.701792	0.039578	1.969102	19197913	18.033039	27425.592516	2453.278668	44240.070994	0.005724
13.320000	0.074074	0.398149	0.448149	1.425926	0.925926	0.500000	1.158167	0.071846	0.703950	0.038612	1.972						

t	li	D_{20}	D_{30}	L_{10}	L_{20}	L_{30}	S_{10}	S_{20}	S_{30}	S_{40}	Sg	pk	G_c	pa	I_{spec}	P	uPk
15.600000	0.087181	0.424361	0.474361	1.412819	0.912819	0.500000	1.216943	0.054913	0.745125	0.019620	2.036601	20024027	18.809026	28605.754137	2456.640027	46207.007032	0.005772
15.720000	0.087873	0.425746	0.475746	1.412127	0.912127	0.500000	1.219989	0.053988	0.747301	0.018587	2.039865	20064145	18.846710	28663.066027	2456.796216	46302.526849	0.005774
15.840000	0.088566	0.427132	0.477132	1.411434	0.911434	0.500000	1.223031	0.053060	0.749478	0.017550	2.043118	20104147	18.884285	28720.211800	2456.951332	46397.769803	0.005777
15.960000	0.089259	0.428519	0.478519	1.410741	0.910741	0.500000	1.226067	0.052128	0.751655	0.016509	2.046360	20144032	18.921750	28777.190845	2457.105382	46492.734879	0.005779
16.080000	0.089953	0.429906	0.479906	1.410047	0.910047	0.500000	1.229099	0.051193	0.753834	0.015465	2.049591	20183800	18.959106	28834.002555	2457.258373	46587.421063	0.005781
16.200000	0.090647	0.431293	0.481293	1.409353	0.909353	0.500000	1.232126	0.050255	0.756014	0.014417	2.052812	20223451	18.996350	28890.646325	2457.410314	46681.827347	0.005784
16.320000	0.091341	0.432681	0.482681	1.408659	0.908659	0.500000	1.235148	0.049313	0.758194	0.013367	2.056021	20262984	19.033484	28947.121553	2457.561210	46775.952726	0.005786
16.440000	0.092035	0.434070	0.484070	1.407965	0.907965	0.500000	1.238165	0.048367	0.760375	0.012312	2.059220	20302398	19.070507	29003.427637	2457.711069	46869.796201	0.005788
16.560000	0.092730	0.435459	0.485459	1.407270	0.907270	0.500000	1.241178	0.047419	0.762557	0.011254	2.062408	20341693	19.107418	29059.563981	2457.859898	46963.356774	0.005790
16.680000	0.093424	0.436849	0.486849	1.406576	0.906576	0.500000	1.244185	0.046467	0.764740	0.010193	2.065585	20380870	19.144217	29115.529989	2458.007705	47056.633453	0.005793
16.800000	0.094119	0.438239	0.488239	1.405881	0.905881	0.500000	1.247188	0.045511	0.766924	0.009128	2.068751	20419926	19.180904	29171.325067	2458.154495	47149.625250	0.005795
16.920000	0.094815	0.439630	0.489630	1.405185	0.905185	0.500000	1.250185	0.044552	0.769109	0.008060	2.071906	20458863	19.217478	29226.948625	2458.300277	47242.331181	0.005797
17.040000	0.095511	0.441021	0.491021	1.404489	0.904489	0.500000	1.253178	0.043590	0.771294	0.006989	2.075050	20497679	19.253939	29282.400076	2458.445056	47334.750265	0.005799
17.160000	0.096206	0.442413	0.492413	1.403794	0.903794	0.500000	1.256165	0.042624	0.773480	0.005914	2.078184	20536374	19.290286	29337.678832	2458.588839	47426.881526	0.005801
17.280000	0.096903	0.443805	0.493805	1.403097	0.903097	0.500000	1.259148	0.041655	0.775667	0.004835	2.081306	20574948	19.326519	29392.784311	2458.731633	47518.723992	0.005804
17.400000	0.097599	0.445198	0.495198	1.402401	0.902401	0.500000	1.262126	0.040683	0.777855	0.003753	2.084417	20613400	19.362638	29447.715932	2458.873445	47610.276693	0.005806
17.520000	0.098296	0.446591	0.496591	1.401704	0.901704	0.500000	1.265099	0.039707	0.780044	0.002668	2.087517	20651730	19.398642	29502.473117	2459.014281	47701.538667	0.005808
17.640000	0.098993	0.447985	0.497985	1.401007	0.901007	0.500000	1.268066	0.038727	0.782234	0.001579	2.090606	20689937	19.434532	29557.055288	2459.154148	47792.508953	0.005810
17.760000	0.099690	0.449380	0.499380	1.400310	0.900310	0.500000	1.271029	0.037745	0.784424	0.000487	2.093684	20728022	19.470305	29611.461873	2459.293051	47883.186595	0.005812
17.880000	0.100387	0.450775	0.500775	1.399613	0.899613	0.500000	1.273987	0.036758	0.000001	0.000000	1.310746	11542957	10.842564	16489.940548	2399.246506	26013.984342	0.005170
18.000000	0.101008	0.452015	0.502015	1.398992	0.898992	0.500000	1.276613	0.035879	0.000001	0.000000	1.312492	11562181	10.860621	16517.402127	2399.471799	26059.753641	0.005172
18.120000	0.101628	0.453257	0.503257	1.398372	0.898372	0.500000	1.279234	0.034996	0.000001	0.000000	1.314231	11581336	10.878615	16544.767760	2399.695561	26105.363029	0.005173
18.240000	0.102249	0.454498	0.504498	1.397751	0.897751	0.500000	1.281852	0.034111	0.000001	0.000000	1.315964	11600425	10.896545	16572.037175	2399.917801	26150.812054	0.005175
18.360000	0.102870	0.455740	0.505740	1.397130	0.897130	0.500000	1.284466	0.033223	0.000001	0.000000	1.317690	11619446	10.914412	16599.210102	2400.138528	26196.100266	0.005177
18.480000	0.103491	0.456983	0.506983	1.396509	0.896509	0.500000	1.287076	0.032332	0.000001	0.000000	1.319409	11638399	10.932215	16626.286273	2400.357751	26241.227217	0.005179
18.600000	0.104113	0.458226	0.508226	1.395887	0.895887	0.500000	1.289682	0.031439	0.000001	0.000000	1.321122	11657285	10.949955	16653.265420	2400.575480	26286.192462	0.005180
18.720000	0.104734	0.459469	0.509469	1.395266	0.895266	0.500000	1.292284	0.030543	0.000001	0.000000	1.322828	11676102	10.967630	16680.147277	2400.791724	26330.995557	0.005182
18.840000	0.105356	0.460713	0.510713	1.394644	0.894644	0.500000	1.294882	0.029644	0.000001	0.000000	1.324527	11694851	10.985241	16706.931578	2401.006490	26375.636061	0.005184
18.960000	0.105978	0.461957	0.511957	1.394022	0.894022	0.500000	1.297475	0.028742	0.000001	0.000000	1.326219	11713532	11.002789	16733.618061	2401.219789	26420.113532	0.005185
19.080000	0.106601	0.463201	0.513201	1.393399	0.893399	0.500000	1.300065	0.027838	0.000001	0.000000	1.327904	11732144	11.020271	16760.206462	2401.431628	26464.427534	0.005187
19.200000	0.107223	0.464446	0.514446	1.392777	0.892777	0.500000	1.302651	0.026931	0.000001	0.000000	1.329583	11750687	11.037689	16786.696520	2401.642016	26508.577630	0.005189
19.320000	0.107846	0.465691	0.515691	1.392154	0.892154	0.500000	1.305233	0.026022	0.000001	0.000000	1.331255	11769161	11.055042	16813.087974	2401.850961	26552.563387	0.005190
19.440000	0.108468	0.466937	0.516937	1.391532	0.891532	0.500000	1.307810	0.025109	0.000001	0.000000	1.332920	11787565	11.072330	16839.380565	2402.058473	26596.384372	0.005192
19.560000	0.109091	0.468183	0.518183	1.390909	0.890909	0.500000	1.310384	0.024194	0.000001	0.000000	1.334579	11805901	11.089553	16865.574035	2402.264559	26640.040155	0.005193
19.680000	0.109715	0.469429	0.519429	1.390285	0.890285	0.500000	1.312953	0.023276	0.000001	0.000000	1.336230	11824167	11.106711	16891.668128	2402.469228	26683.530310	0.005195
19.800000	0.110338	0.470676	0.520676	1.389662	0.889662	0.500000	1.315519	0.022356	0.000001	0.000000	1.337875	11842363	11.123803	16917.662587	2402.672487	26726.854409	0.005197
19.920000	0.110962	0.471923	0.521923	1.389038	0.889038	0.500000	1.318080	0.021432	0.000001	0.000000	1.339513	11860489	11.140829	16943.557158	2402.874345	26770.012028	0.005198
20.040000	0.111585	0.473171	0.523171	1.388415	0.888415	0.500000	1.320637	0.020506	0.000001	0.000000	1.341144	11878545	11.157789	16969.351589	2403.074810	26813.002745	0.005200
20.160000	0.112209	0.474419	0.524419	1.387791	0.887791	0.500000	1.323190	0.019578	0.000001	0.000000	1.342769	11896531	11.174684	16995.045626	2403.273890	26855.826141	0.005201
20.280000	0.112834	0.475667	0.525667	1.387166	0.887166	0.500000	1.325739	0.018646	0.000001	0.000000	1.344386	11914446	11.191512	17020.639019	2403.471593	26898.481796	0.005203
20.400000	0.113458	0.476916	0.526916	1.386542	0.886542	0.500000	1.328284	0.017712	0.000001	0.000000	1.345997	11932291	11.208274	17046.131519	2403.667926	26940.969296	0.005204
20.520000	0.114082	0.478165	0.528165	1.385918	0.885918	0.500000	1.330825	0.016775	0.000001	0.000000	1.347600	11950065	11.224970	17071.522876	2403.862897	26983.288225	0.005206
20.640000	0.114707	0.479414	0.529414	1.385293	0.885293	0.500000	1.333361	0.015835	0.000001	0.000000	1.349197	11967768	11.241599	17096.812844	2404.056514	27025.438171	0.005208
20.760000	0.115332	0.480664	0.530664	1.384668	0.884668	0.500000	1.335893	0.014893	0.000001	0.000000	1.350787	11985400	11.258161	17122.001176	2404.248785	27067.418724	0.005209
20.880000	0.115957	0.481914	0.531914	1.384043	0.884043	0.500000	1.338422	0.013948	0.000001	0.000000	1.352370	12002960	11.274656	17147.087627	2404.439716	27109.229476	0.005211
21.000000	0.116582	0.483165	0.533165	1.383418	0.883418	0.500000	1.340946	0.013000	0.000001	0.000000	1.353946	12020449	11.291083	17172.071953	2404.629316	27150.870020	0.005212
21.120000	0.117208	0.484416	0.534416	1.382792	0.882792	0.500000	1.343466	0.012049	0.000001	0.000000	1.355516	12037867	11.307444	17196.953912	2404.817591	27192.339952	0.005214
21.240000	0.117833	0.485667	0.535667	1.382167	0.882167	0.500000	1.345981	0.011096	0.000001	0.000000	1.357078	12055212	11.323737	17221.733263	2405.004549	27233.638869	0.005215
21.360000	0.118459	0.486919	0.536919	1.381541	0.881541	0.500000	1.348493	0.010140	0.000001								

t	li	D_{20}	D_{30}	L_{10}	L_{20}	L_{30}	S_{10}	S_{20}	S_{30}	S_{40}	S_g	pk	G_c	pa	I_{spec}	P	u_{Pk}
23.520000	0.125508	0.501015	0.551015	1.374492	0.874492	0.500000	0.000001	0.000000	0.000001	0.000000	0.000002	0	0.000001	0.000884	0.000000	-1469.248486	0.000182
23.640000	0.125529	0.501059	0.551059	1.374471	0.874471	0.500000	0.000001	0.000000	0.000001	0.000000	0.000002	0	0.000001	0.000884	0.000000	-1469.248486	0.000182
23.760000	0.125551	0.501102	0.551102	1.374449	0.874449	0.500000	0.000001	0.000000	0.000001	0.000000	0.000002	0	0.000001	0.000884	0.000000	-1469.248486	0.000182
23.880000	0.125573	0.501146	0.551146	1.374427	0.874427	0.500000	0.000001	0.000000	0.000001	0.000000	0.000002	0	0.000001	0.000884	0.000000	-1469.248486	0.000182
24.000000	0.125595	0.501189	0.551189	1.374405	0.874405	0.500000	0.000001	0.000000	0.000001	0.000000	0.000002	0	0.000001	0.000884	0.000000	-1469.248486	0.000182

Graphs



Pic. N^o2: Changing the diameter of the charge during engine operation

Tipo graphic 3

Pic. N^o3: Changing the length of the charge during engine operation

Tipo graphic 4

Pic. N^o4: Changes in consumption during engine operation

Tipo graphic 5

Pic. N^o5: Changing the burning area of the charge during engine operation

Tipo graphic 6

Pic. N^o6: The change in pressure in the combustion chamber while the engine

Tipo graphic 7

Pic. N^o7: Changing the speed of the combustion of fuel during engine operation

Tipo graphic 8

Pic. N^o8: Change thrust during engine operation

Tipo graphic 9

Pic. N^o9: Changing specific impulse while the engine

Burning charge

Table N^o4: Table calculated data to construct a model of the engine combustion charge

Table data validation through the function IF

Вывод по курсовой работе: Данная работа позволила овладеть навыками расчета на ПЭВМ параметров рабочих процессов двигателя с заданной начальной формой заряда.

Литература :

1. Методические указания на курсовую работу по дисциплине 37528 “Информационные технологии в АКТ”
– Кадомкин В.В. – М. 2014 г.

Дата защиты курсовой работы: «04» июня 2015 г.

Подпись студента_____

Подпись преподавателя_____