

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

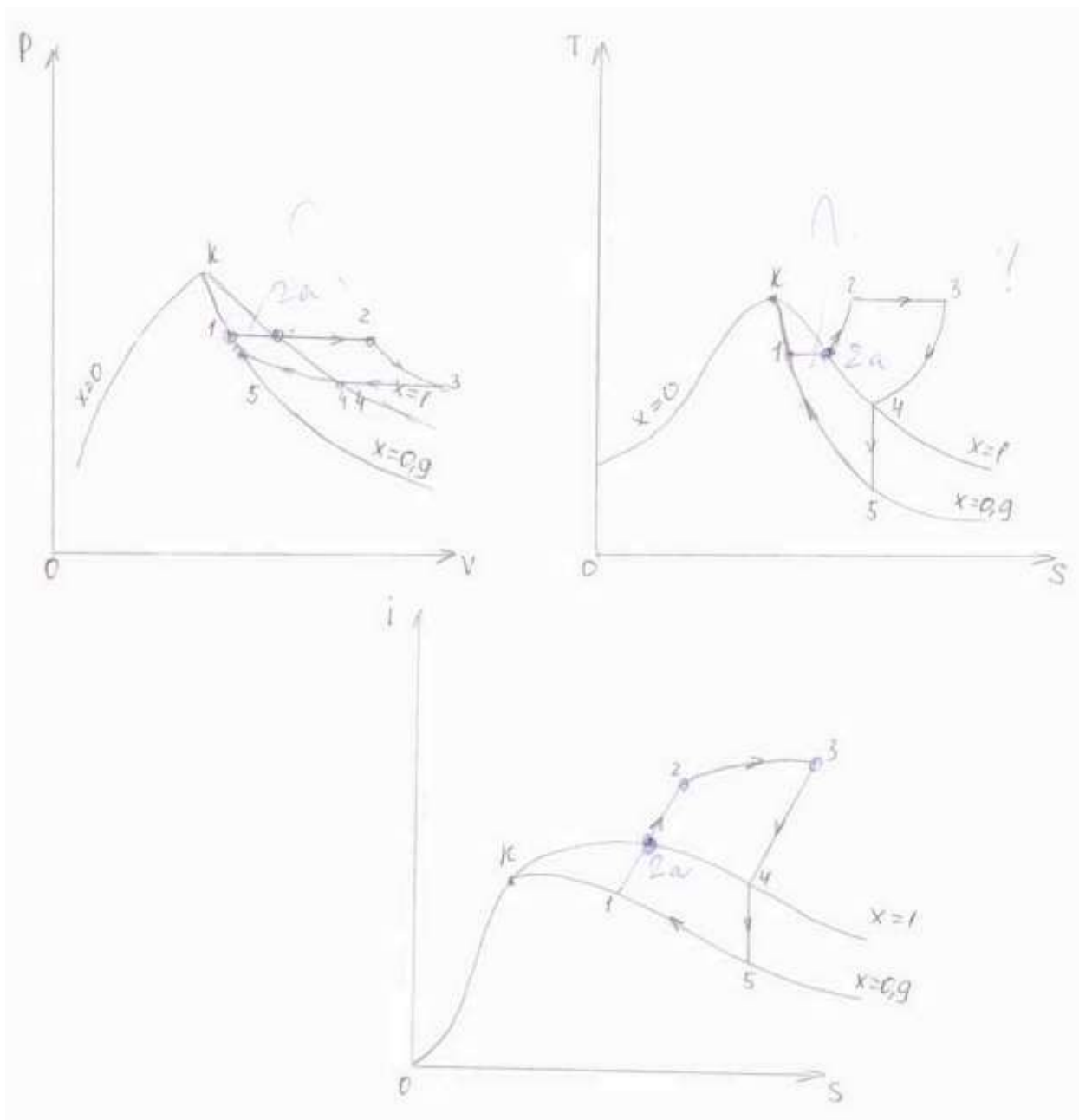
**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Выполнение курсовой работы по дисциплине
Техническая термодинамика**

**Расчет цикла водяного пара.
Расчет процесса водяного пара через сопло Лаваля и
конструирование этого сопла.**

Выполнила студентка факультета
Ф.И.О.
Вариант 20

Москва 2010



Часть 1. Расчет цикла водяного пара.

Схематические графики в pV , TS , is координатах

1p2t3p4ад5 x1

$P_1 = 2.5$ МПа

$T_3 = 1$ мЗ/кг

$X_4 = 1$

$X_1 = 0.9$

Исследовать т.5

Таблица 1

Точки	P , МПа	V , м ³ /кг	T , К	t , °С	i , КДж/кг	S , КДж/кг	U , КДж/кг	X , %
-------	-----------	--------------------------	---------	----------	--------------	--------------	--------------	---------

1	2.5	0.1	503	230	2615	5.88	2420	90
2	2.5	0.1	573	300	3015	6.66	2765	-
3	0.26	1	573	300	3075	7.78	2815	-
4	0.26	0.7	403	130	2720	7.05	2538	100
5	0.035	4.5	343	70	2400	7.05	2242	90

$$U_1 = i_1 - p_1 * V_1 = 2615 - 2500 * 0.078 = 2420 \text{ КДж/кг}$$

$$U_2 = i_2 - p_2 * V_2 = 3015 - 2500 * 0.1 = 2765 \text{ КДж/кг}$$

$$U_3 = i_3 - p_3 * V_3 = 3075 - 260 = 2815 \text{ КДж/кг}$$

$$U_4 = i_4 - p_4 * V_4 = 2720 - 260 * 0.7 = 2538 \text{ КДж/кг}$$

$$U_5 = i_5 - p_5 * V_5 = 2400 - 35 * 4.5 = 2242.5 \text{ КДж/кг}$$

Таблица 2

Процессы	Δi , КДж/кг	ΔS , КДж/кг	ΔU , КДж/кг	l , КДж/кг	q , КДж/кг
1-2	400	0.78	345	55	400
2-3	60	1.12	50	591.76	641.76
3-4	-355	-0.73	-277	-78	-355
4-5	-320	0	-296	296	0
5-1	215	-1.17	178	-672.91	-494.91
Сумма	0	0	0	191.85	191.85

1-2 изобарный

2-3 изотермический

3-4 изобарный

4-5 адиабатный

5-1 последняя степень сухости

$$1) \Delta i_{1-2} = i_2 - i_1 = 3015 - 2615 = 400 \text{ КДж/кг}$$

$$\Delta i_{2-3} = i_3 - i_2 = 3075 - 3015 = 60 \text{ КДж/кг}$$

$$\Delta i_{4-5} = i_4 - i_3 = 2720 - 3075 = -355 \text{ КДж/кг}$$

$$\Delta i_{5-1} = i_1 - i_5 = 2615 - 2400 = 215 \text{ КДж/кг}$$

$$2) \Delta S_{1-2} = S_2 - S_1 = 6.66 - 5.88 = 0.78 \text{ КДж/кг} \cdot K$$

$$\Delta S_{2-3} = S_3 - S_2 = 7.78 - 6.66 = 1.12 \text{ КДж/кг} \cdot K$$

$$\Delta S_{3-4} = S_3 - S_4 = 7.05 - 7.78 = -0.73 \text{ КДж/кг} \cdot K$$

$$\Delta S_{4-5} = S_5 - S_4 = 7.05 - 7.05 = 0$$

$$\Delta S_{5-1} = S_1 - S_5 = 5.88 - 7.05 = -1.17 \text{ КДж/кг} \cdot K$$

$$3) \Delta U_{1-2} = U_2 - U_1 = 2765 - 2420 = 345 \text{ КДж/кг}$$

$$\Delta U_{2-3} = U_3 - U_2 = 2815 - 2765 = 50 \text{ КДж/кг}$$

$$\Delta U_{3-4} = U_4 - U_3 = 2538 - 2815 = -277 \text{ КДж/кг}$$

$$\Delta U_{4-5} = U_5 - U_4 = 2242 - 2538 = -296 \text{ КДж/кг}$$

$$\Delta U_{5-1} = U_1 - U_5 = 2420 - 2242 = 178 \text{ КДж/кг}$$

$$\begin{aligned}
4) \quad q_{1-2} &= i_2 - i_1 = 3015 - 2615 = 400 \text{ КДж/кг} \\
q_{2-3} &= T(S_3 - S_2) = 573 * (7.78 - 6.66) = 641.76 \text{ КДж/кг} \\
q_{3-4} &= i_4 - i_3 = 2720 - 3075 = - 355 \text{ КДж/кг} \\
q_{4-5} &= 0 \\
q_{5-1} &= \frac{T_1 + T_5}{2} (S_1 - S_5) = \frac{503 + 343}{2} (5.88 - 7.05) = - 496.96 \text{ КДж/кг}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
5) \quad l_{1-2} &= p (V_2 - V_1) = 2500 * (0.1 - 0.078) = 55 \text{ КДж/кг} \\
l_{2-3} &= q_{2-3} - \Delta U_{2-3} = 641.76 - 150 = 491.76 \text{ КДж/кг} \\
l_{3-4} &= p (V_k - V_1) = 260 (0.7 - 1) = - 78 \text{ КДж/кг} \\
l_{4-5} &= - \Delta U_{4-5} - 296 \text{ КДж/кг} \\
l_{5-1} &= q_{5-1} - \Delta U_{5-1} = - 494.91 - 178 = 672.91 \text{ КДж/кг}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
q_1 &= \sum q_{\text{подв}} = 400 + 641.76 = 1041.76 \text{ КДж/кг} \\
q_2 &= \sum q_{\text{отв}} = |- 355 - 494.91| = 849.91 \text{ КДж/кг} \\
l_{\text{ц}} &= q_{\text{ц}} = q_1 - q_2 = 1041.76 - 849.91 = 191.85 \text{ КДж/кг} \\
\dot{\eta}_t &= \frac{q_1 - q_2}{q_1} * 100\% = \frac{191.85}{1041.76} * 100\% = 18.42 \% \\
P_i &= \frac{0.001 * l_{\text{ц}}}{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}} = \frac{0.001 * 191.85}{4.5 - 0.078} = 0.043 \text{ МПа} \\
\dot{\eta}_{\text{карно}} &= 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}} = 1 - \frac{343}{573} * 100\% = 40.14 \%
\end{aligned}$$

Таблица 5.

Параметры	Размерность	По паровым таблицам	По is - диаграмме	% расхождения
V_5	$\text{м}^3/\text{кг}$	4.54	4.5	0.88
i_5	КДж/кг	2393	2400	0.29
S_5	$\text{КДж/кг} \cdot \text{К}$	7.07	7.05	0.28
U_5	КДж/кг	2252	2242	0.44
l_5	КДж/кг	1959.03	1949.04	0.5
ψ_5	КДж/кг	8891.99	8768.69	1.39
r_5	КДж/кг	10851.02	10717.73	1.23

По is – диаграмме :

$$\begin{aligned}
U_5 &= i_5 - p * V_5 = 2400 - 0.035 * 4.5 = 2400 \text{ КДж/кг} \\
l_5 &= U_5 - U^I = U_5 - i^I = 2242 - 293 + 35 * 0.0010228 = 1949.04 \text{ КДж/кг} \\
\psi_5 &= l_5 (V_5 - V^I) = 1949.04 * (4.5 - 0.0010228) = 8768.69 \text{ КДж/кг} \\
r_5 &= l_5 + \psi_5 = 1949.04 + 8768.69 = 10717.73 \text{ КДж/кг}
\end{aligned}$$

По паровым таблицам:

$$V_5 = V^{\text{II}} * X = 5.045 * 0.9 = 4.54 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$I_5 = i^I + r \cdot x = 293 + 2333 \cdot 0.9 = 2392.7 \text{ КДж/кг} \approx 2393 \text{ КДж/кг}$$

$$S_5 = S^I + \frac{r \cdot x}{T_H} = 0.9549 + \frac{0.9 \cdot 2333}{343.15} = 7.07 \text{ КДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$I_5 = U_5 - U^I = U_5 - i^I + p V^I = 2252 - 293 + 31.17 \cdot 0.0010228 = 1959.03 \text{ КДж/кг}$$

$$\psi_5 = I_5(V_5 - V^I) = 1959.03 (4.54 - 0.0010228) = 8891.99 \text{ КДж/кг}$$

$$r_5 = I_5 + \psi_5 = 1949.03 + 8891.99 = 10851.02 \text{ КДж/кг}$$

$$\text{Процесс расхождения : } \frac{K_{\text{табл}} - K_{\text{ис}}}{K_{\text{табл}}} \cdot 100 \%$$

$$1) V_5 : \frac{4.54 - 4.5}{4.54} \cdot 100 \% = 0.88\%$$

$$2) i_5 : \frac{2393 - 2400}{2393} \cdot 100 \% = 0.29\%$$

$$3) S_5 : \frac{7.07 - 7.05}{7.07} \cdot 100 \% = 0.28\%$$

$$4) U_5 : \frac{2252 - 2242}{2242} \cdot 100 \% = 0.44\%$$

$$5) \psi_5 : \frac{8891.99 - 8768.69}{8891.99} \cdot 100 \% = 1.39\%$$

$$6) I_5 : \frac{1959.03 - 1949.04}{1959.03} \cdot 100 \% = 0.5\%$$

$$7) r_5 : \frac{10851.02 - 10717.73}{10851.02} \cdot 100 \% = 1.23\%$$

Часть 2 : Расчет процесса истечения через сопло Лавалья и конструирование сопла.

№	Вычисление величины	$P_{2кр}$	P^I	P^{II}	P^{III}	P^{IV}	P_2
1	$P, \text{бар}$	6	2.8	1	0.4	0.2	0.03
2	$\Delta n_0, \text{КДж/кг}$	90	240	400	540	690	850
3	$W_{\text{теор}} = 4472 \sqrt{\Delta n_0}, \text{м/с}$	424.3	692.8	894.4	1039.2	1174.7	1303.8
4	$W_{\text{действ}} = Y \cdot W_{\text{теор}}$	411.6	672	867.6	1008	1139.5	1264.7
5	$V_{\text{действ}}, \text{м}^3/\text{кг}$	0.32	0.65	1.7	4	10	35
6	$l_{\text{действ}}, \text{кг/м}^3$	3.125	1.54	0.59	0.25	0.1	0.029
7	$d = \frac{M \cdot V_{\text{действ}}}{W_{\text{действ}}} \cdot 10^6, \text{мм}^2$	1710.4	2127.9	4310.7	8730.2	19306.7	60884
8	$d = 2 \sqrt{\frac{d}{\pi}}, \text{мм}$	46.7	52	74.1	105.5	156.8	278.5
9	$L, \text{мм}$	0	27.5	142.3	305.3	571.6	1203.5
10	$t^0, ^\circ\text{C}$	160	135	100	75	50	25
11	$T, \text{К}$	433	408	373	348	323	298
12	$W_{3в} = \sqrt{KRT}, \text{м/с}$	529.2	513.7	491.13	474.4	457.02	438.98

Из is – диаграммы :

$$\Delta h_0 = 2850 - 2000 = 850 \text{ КДж/кг}$$

$$\Delta h = 2850 - 2055 = 795 \text{ КДж/кг}$$

$$\begin{aligned}\Delta h_0^{IV} &= 2850 - 2160 = 690 \text{ КДж/кг} \\ \Delta h_0^{III} &= 2850 - 2310 = 540 \text{ КДж/кг} \\ \Delta h_0^{II} &= 2850 - 2450 = 400 \text{ КДж/кг} \\ \Delta h_0^I &= 2850 - 2610 = 240 \text{ КДж/кг} \\ \Delta h_{кр} &= 2850 - 2760 = 90 \text{ КДж/кг}\end{aligned}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{11 \cdot 10^5}{0.003 \cdot 10^5} = 0.027 \leq B_{кр} = 0.546 \rightarrow P_{2кр} = B_{кр} \cdot P_1 = 0.546 \cdot 11 = 6.006 \text{ бар}$$

$$P_{уст} = P_2 = 0.03 \text{ бар}$$

$$\varphi = \sqrt{\frac{\Delta h}{\Delta h_0}} = \sqrt{\frac{795}{850}} = 0.97$$

$$\begin{aligned}1) W_{теор} &= 44.72 \cdot \sqrt{\Delta h_0} \\ W_{ар} &= 44.72 \cdot \sqrt{90} = 424.3 \text{ м/с} \\ W_1 &= 44.72 \cdot \sqrt{240} = 692.8 \text{ м/с} \\ W_2 &= 44.72 \cdot \sqrt{400} = 894.4 \text{ м/с} \\ W_3 &= 44.72 \cdot \sqrt{540} = 1039.2 \text{ м/с} \\ W_4 &= 44.72 \cdot \sqrt{690} = 1174.7 \text{ м/с} \\ W_0 &= 44.72 \cdot \sqrt{850} = 1303.8 \text{ м/с}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2) W_{действ} &= \varphi \cdot W_{теор}, \text{ м/с} \\ W_{кр} &= 0.97 \cdot 424.3 = 411.6 \text{ м/с} \\ W_1 &= 0.97 \cdot 692.8 = 672 \text{ м/с} \\ W_2 &= 0.97 \cdot 894.4 = 867.6 \text{ м/с} \\ W_3 &= 0.97 \cdot 1039.2 = 1008 \text{ м/с} \\ W_4 &= 0.97 \cdot 1174.7 = 1139.5 \text{ м/с} \\ W_0 &= 0.97 \cdot 1303.8 = 1264.7 \text{ м/с}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}3) l_{действ} &= \frac{1}{V_{действ}} \\ l_{кр} &= \frac{1}{0.32} = 3.125 \text{ кг/м}^3 \\ l_1 &= \frac{1}{0.64} = 1.54 \text{ кг/м}^3 \\ l_2 &= \frac{1}{1.7} = 0.59 \text{ кг/м}^3 \\ l_3 &= \frac{1}{4} = 0.25 \text{ кг/м}^3 \\ l_4 &= \frac{1}{10} = 0.1 \text{ кг/м}^3 \\ l_5 &= \frac{1}{35} = 0.029 \text{ кг/м}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}4) d &= \frac{M_0 \cdot V_{действ}}{W_{действ}} \cdot 10^6, \text{ мм}^2 \quad M^0 = 2.2 \text{ кг/с} \\ d_{кр} &= \frac{2.2 \cdot 0.32}{411.6} \cdot 10^6 = 1710 \text{ мм}^2 \\ d_1 &= \frac{2.2 \cdot 0.65}{672} \cdot 10^6 = 2127.9 \text{ мм}^2\end{aligned}$$

$$d_2 = \frac{2.2 * 1.7}{867.6} * 10^6 = 4310.7 \text{ мм}^2$$

$$d_3 = \frac{2.2 * 4}{1008} * 10^6 = 8730.9 \text{ мм}^2$$

$$d_4 = \frac{2.2 * 10}{1139.5} * 10^6 = 19306.7 \text{ мм}^2$$

$$d_5 = \frac{2.2 * 35}{1264.7} * 10^6 = 60884 \text{ мм}^2$$

$$5) d = 2 \sqrt{\frac{d}{\Pi}}, \text{ мм}$$

$$d_{\text{кр}} = 2 \sqrt{\frac{1710.4}{3.14}} = 46.7 \text{ мм}$$

$$d_1 = 2 \sqrt{\frac{2127.9}{3.14}} = 52 \text{ мм}$$

$$d_2 = 2 \sqrt{\frac{4310.7}{3.14}} = 74.1 \text{ мм}$$

$$d_3 = 2 \sqrt{\frac{8730.2}{3.14}} = 105.5 \text{ мм}$$

$$6) L^I = 5.192 (d^I - d_{\text{гор}}), d_{\text{гор}} = 46.7 \text{ мм}$$

$$L^I = 5.192(52 - 46.7) = 27.5 \text{ мм}$$

$$L^{II} = 5.192(74.1 - 46.7) = 142.3 \text{ мм}$$

$$L^{III} = 5.192(105.5 - 46.7) = 305.3 \text{ мм}$$

$$L^{IV} = 5.192(156.8 - 46.7) = 571.6 \text{ мм}$$

$$L = 5.192(d_{\text{устья}} - d_{\text{гор}}) = 5.192 (278.5 - 46.7) = 1203.5 \text{ мм}$$

$$7) W_{3B} = \sqrt{KRT}, \text{ м/с} \quad k=1.4 \quad R = \frac{8315}{18} = 461.9, K \cdot R = 1.4 * 461.9 = 646.66$$

$$W_{\text{кр}} = \sqrt{646.66 * 433} = 529.2 \text{ м/с}$$

$$W_1 = \sqrt{646.66 * 408} = 513.7 \text{ м/с}$$

$$W_2 = \sqrt{646.66 * 373} = 491.13 \text{ м/с}$$

$$W_3 = \sqrt{646.66 * 348} = 474.4 \text{ м/с}$$

$$W_4 = \sqrt{646.66 * 323} = 457.02 \text{ м/с}$$

$$W_5 = \sqrt{646.66 * 298} = 438.98 \text{ м/с}$$

Графики изменения параметров вдоль сопла Чертеж сопла

$L = 1203,5 \text{ мм}$

