

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ОКИСЛИТЕЛЯ α НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВС

Рассчитан теоретический цикл ДВС с водородом в качестве топлива и воздухом в качестве окислителя. Исследовано влияние коэффициента избытка окислителя на термодинамические параметры ДВС.

Теоретический расчет ДВС представляет интерес как с точки зрения более глубокого понимания происходящих процессов, так и для прогнозных оценок эффективности новых видов топлива и топливных смесей. Рассматривается адиабатический квазиравновесный цикл ДВС со сгоранием топливных смесей при постоянном объеме.

Ранее нами был развит метод детального расчета ДВС [1] путем применения для вычислений газовых компонентов программного комплекса АСТРА 4/рс [2]. В основу алгоритма программы АСТРА положен принцип максимума энтропии. Это позволило автору [2] создать универсальный метод термодинамического моделирования равновесных систем.

Алгоритм детального расчета теоретического цикла ДВС основывается на уравнении энергии

$$dU = -PdV, \quad (1)$$

где U —внутренняя энергия, P —давление, V —удельный объем.

Благодаря весьма большой скорости счета по программе АСТРА количество точек на тактах сжатия и расширения может быть взято большим, т.е. с малым шагом ΔV . Тогда уравнение (1) в разностном виде с достаточной точностью может быть записано в виде

$$U_{i+1} = U_i \pm P_i \Delta V, \quad i = 0, \bar{N}, \quad (1a)$$

+ при сжатии, – при расширении, U_{i+1} вычисляется по значениям параметров в точке i , без необходимых итераций. Состав газовых компонентов и другие термодинамические величины, в том числе U_i , P_i , вычисляются по программе АСТРА.

Расчет теоретического цикла ДВС детальным методом отличается высокой точностью и простотой использования.

Рассматривается исходная система



Коэффициент избытка α варьировался в диапазонах $\alpha = 0 \div 5, \infty$. Степень сжатия топливной смеси $\varepsilon = 10$. Основные результаты при одинарном расширении приведены в табл.1 и на рис.1.

Таб.1. Термодинамические параметры ДВС в зависимости от α

α	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	1	1,5	2
V_0	12,37	3,46	1,88	1,50	1,32	1,27	1,19	1,08	1,03
$V_{отн 0}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$V_{отн с}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
P_c	2478,30	2463,90	2447,70	2438,80	2433,40	2431,30	2428,10	2423,00	2419,90
P_r	2478,30	5081,30	7310,00	8267,10	8753,90	8881,50	8850,90	7824,10	6983,70
P_p	97,50	226,04	373,29	451,76	499,58	517,37	547,98	437,73	370,72

T_c	743,46	739,13	734,29	731,65	729,97	729,36	728,38	726,84	725,96	724,98	724,44	724,08	722,63	T_r	743,46

T_r	743,46	1589,50	2401,80	2791,50	3004,00	3063,30	3058,20	2627,20	2292,10
A_p/V_0	371,16	807,54	1237,45	1442,70	1560,35	1600,73	1638,85	1382,10	1203,94
A/V_0	-5,69	431,50	862,34	1068,11	1186,08	1226,57	1264,88	1008,44	830,47
q_{max}/V_0	9693,91	7828,15	5652,24	4422,73	3632,79	3334,90	2865,08	2118,79	1680,83
η	-0,06	5,51	15,26	24,15	32,65	36,78	44,15	47,60	49,41

В таблице приведены значения V_0 - удельный объем [нм³/кг], $V_{отн 0}$, $V_{отн c}$ - это объем газа V_0 , V_c к удельному объему V_0 , P_c , P_r , P_p [МПа] и T_c , T_r , T_p [K]- давление и температура соответственно в конце сжатия, горения, в конце расширения. A_c/V_0 , A_r/V_0 , A_p/V_0 – работа сжатия, горения и расширения [кДж/нм³], q_{max} - максимальная теплота сгорания топлива [кДж/нм³].

Адиабатическая температура горения T_r , адиабатическая температура в конце расширения T_p (рис.1) и давление в точке горения P_r максимальны вблизи $\alpha=1$. При $\alpha<1$ T_r , T_p и P_r уменьшаются, что обусловлено неполнотой сжигания водорода из-за нехватки окислителя. При $\alpha>1$ адиабатическая температура уменьшается вследствие избытка окислителя, на нагрев которого расходуется часть теплоты сгорания. Соответственно уменьшается и P_r . Адиабатическая температура в конце сжатия и давление в конце сжатия P_c для всех α не меняются.

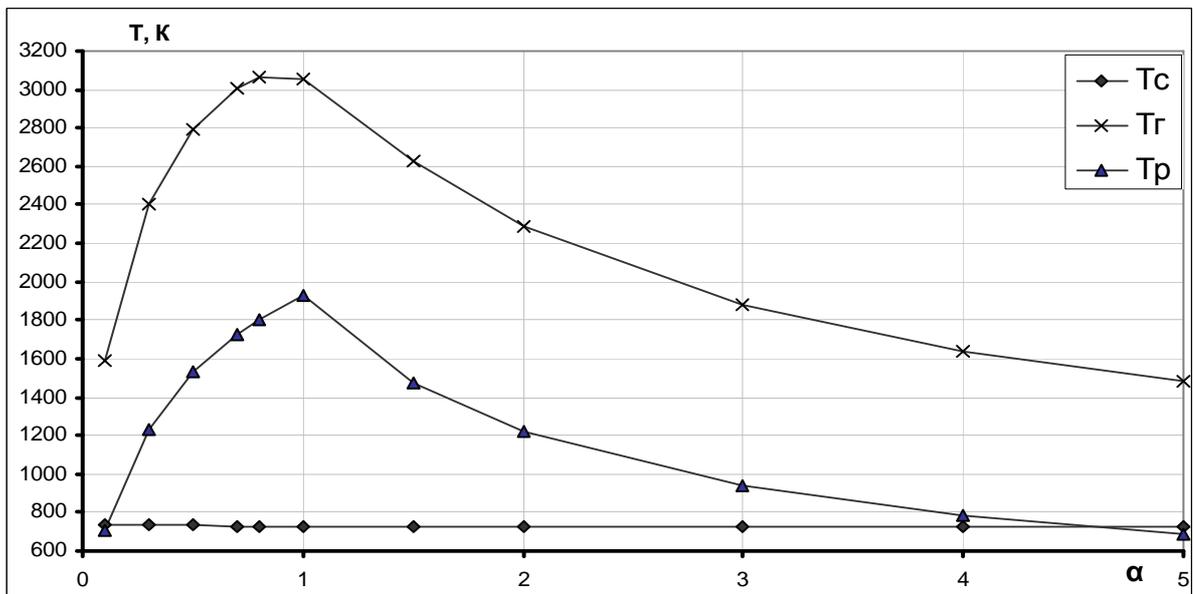


Рис.1. Зависимости адиабатических температур в конце сжатия T_c , горения T_r и в конце расширения T_p от коэффициента избытка окислителя α .

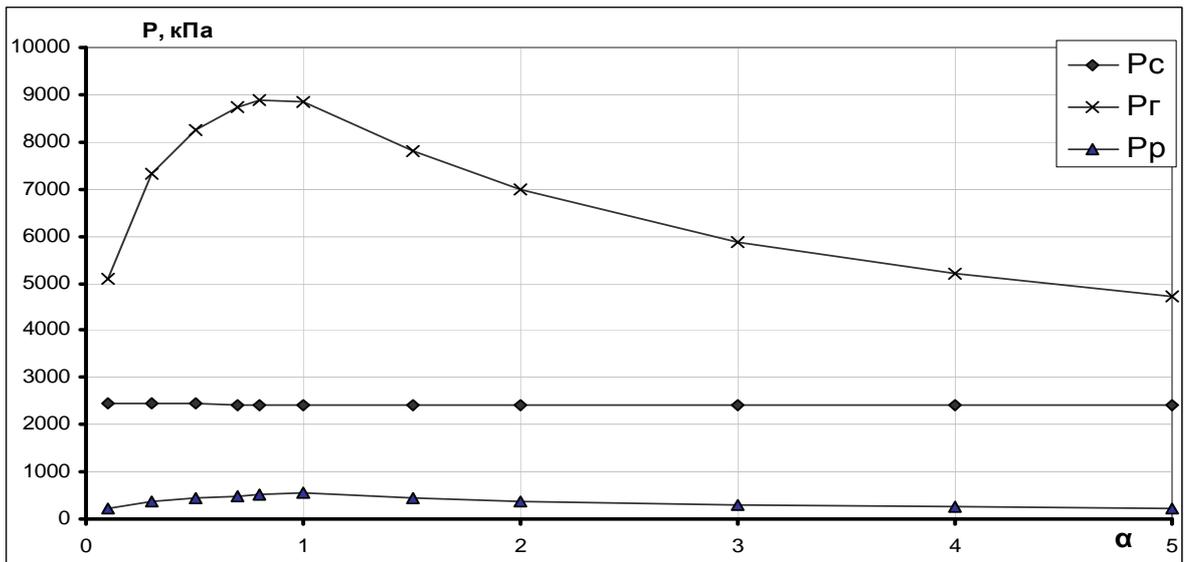


Рис. 2. Зависимости давлений в конце сжатия P_c , горения P_γ и в конце расширения P_p от коэффициента избытка окислителя α .

На рис.3 приведены зависимости работы сжатия A_c , работы расширения A_p и полезной работы A как функции от α . Работа сжатия вычисляется $A = \int_V P dV \approx \Delta V \sum_{i=1}^{180} (P_{ip} - P_{ic})$ работа расширения $A = \int_V P dV \approx \Delta V \sum_{i=1}^{180} (P_{ip} - P_{ic})$. Полезная работа A есть разность $A_p - A_c$.

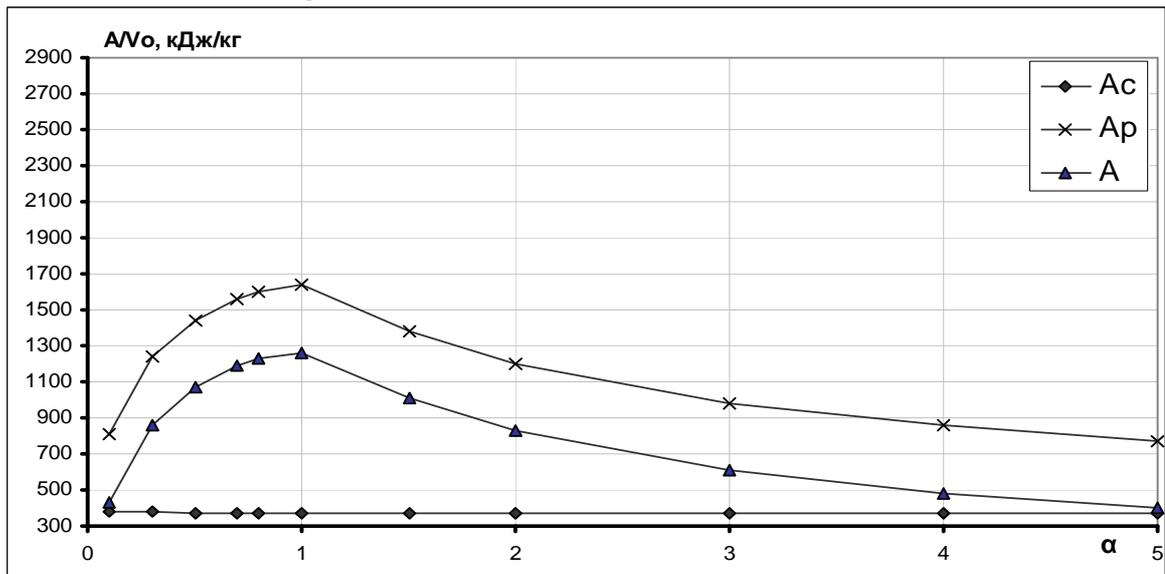


Рис. 3. Зависимости работы сжатия A_c , работы расширения и полной работы от коэффициента избытка окислителя α

Термический коэффициент полезного действия вычисляется по формуле $\eta = A/q_{max}$, где q_{max} - максимальная теплота сгорания топлива, $q_{max} = -[H_2] \cdot \Delta_f H^0 [H_2O, \text{г}, 298,15]$. На рис.4 приведена зависимость КПД от коэффициента избытка окислителя α .

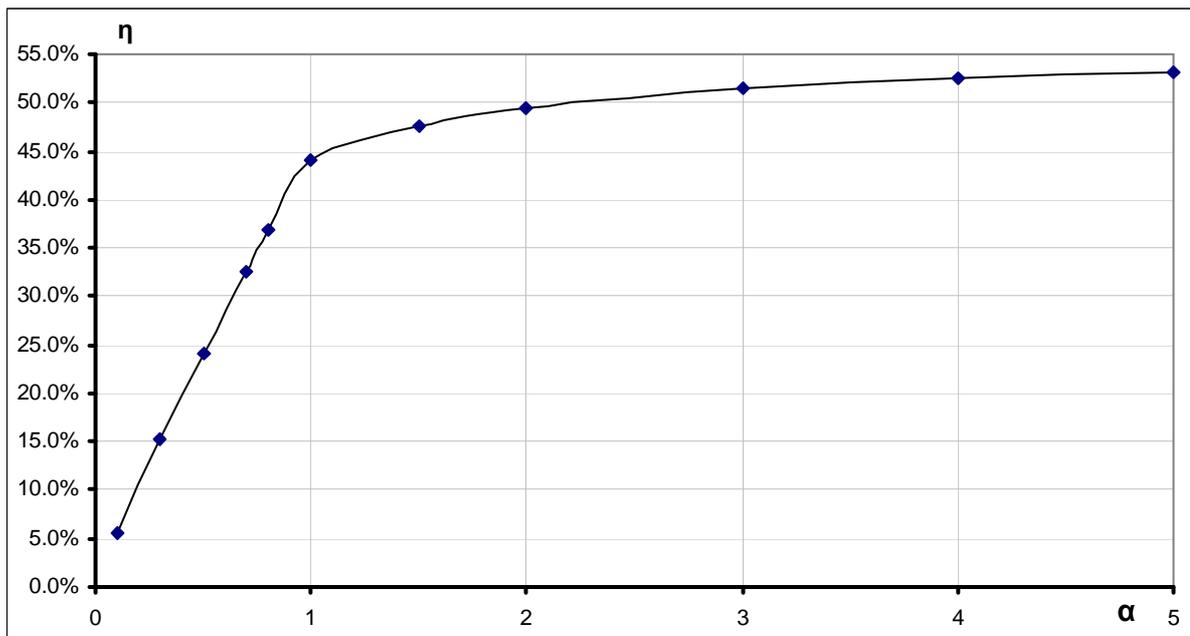


Рис..4. Зависимость КПД от коэффициента избытка окислителя α

Выводы

Проведен термодинамический анализ теоретического цикла ДВС с водородом в качестве топлива и воздухом в качестве окислителя при вариации избытка окислителя α .

Адиабатическая температура горения T_g , адиабатическая температура в конце расширения T_p и давление в точке горения P_g максимальны вблизи $\alpha=1$. При $\alpha < 1$ T_g , T_p и P_g уменьшаются, что обусловлено неполнотой сжигания водорода из-за нехватки окислителя.

КПД при вариации $\alpha=0-5$ изменяется в диапазоне 5-55%.

Литература:

1. Энгельшт В.С., Исаков Р.Т., Мукамбет у. Э. Теоретический цикл двигателя внутреннего сгорания. Метод расчета. //Изв. КНТУ им. И. Раззакова. 2005, № 7. – Бишкек. С.83-87.
2. Трусов Б.Г. Моделирование химических и фазовых равновесий при высоких температурах. (ASTRA. 4/pc). М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 1995. -43 с.