

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ДЕТАЛЬНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЦИКЛА ДВС

Создана программа-оболочка А-ДВС автоматизированного расчета детальным методом циклов ДВС по программе АСТРА 4/рс. Разработан автоматический детальный метод расчета цикла ДВС. Рассчитан теоретический цикл ДВС с водородом в качестве топлива и воздухом в качестве окислителя.

В 2005 г. был создан 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.

В 2007 г. создана программа-оболочка А-ДВС, предназначенная для автоматизированного расчета детальным методом циклов ДВС по программе АСТРА 4/рс. А-ДВС полностью исключает возникновение ошибок из-за человеческого фактора, и к тому же скорость вычисления возрастает в десятки раз. Ввод начальной информации производится с клавиатуры, вывод результатов осуществляется на экран монитора и в файлы.

После запуска программы А-ДВС на экране дисплея появляется окно (рис. 1), в котором задаются начальные значения.

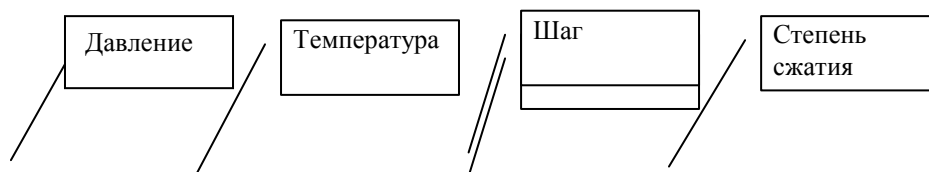
Задаем в программе А-ДВС (рис. 1) параметры: топливная смесь - это водород (H_2) в качестве горючего и воздух в качестве окислителя, при стехиометрическом соотношении ($\alpha=1$). Эта топливная смесь может быть записана в виде

$$100\% N52.4037 O14.0754 Ar0.311059 H28.1508 \quad (2)$$

Принято $P_0=0.1\text{МПа}$, $T_0=300\text{К}$, степень сжатия $E=10$, шаг $h=0,005$. На стадии сжатия $T=300-1000\text{К}$ предполагается, что химические превращения компонентов топливных смесей не происходят. Поэтому из расчета исключаются следующие молекулярные компоненты по принятой в программе АСТРА директиве:



k^* - конденсированное состояние.



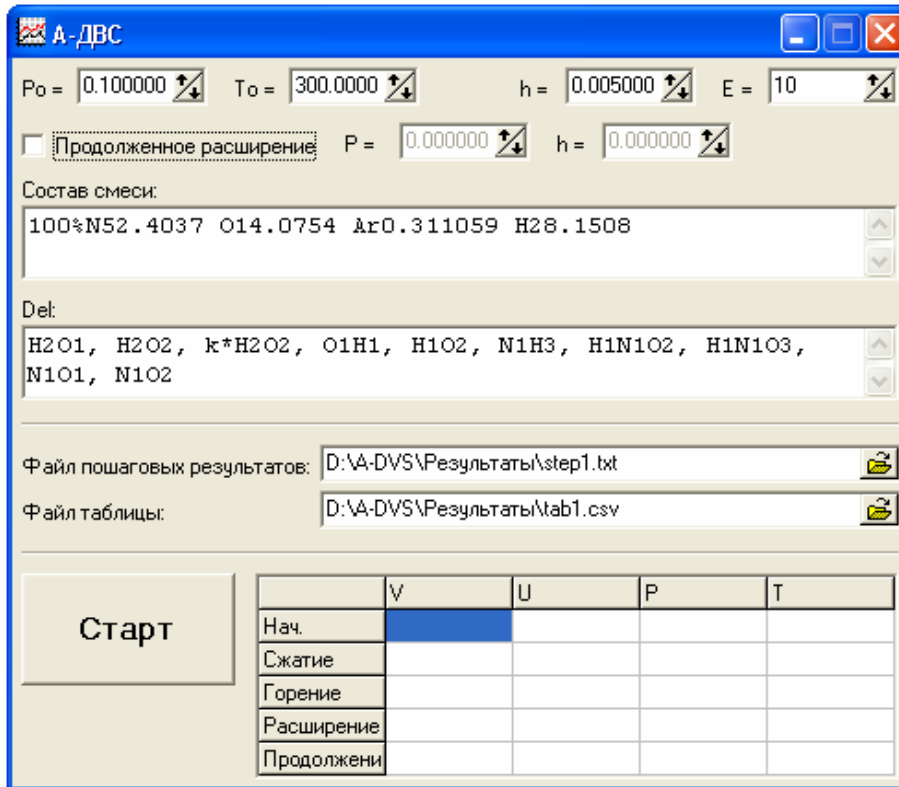


Рис. 1. Окно программы–оболочки А-ДВС.

Для сохранения результатов в файле в поле *Файл пошаговых результатов* и в поле *Файл таблицы* задаем имена файлов, в которых будут сохраняться результаты расчетов. В *файле пошаговых результатов* сохраняется полная информация о каждом шаге расчета по программе АСТРА. Этот файл открывается по умолчанию в программе «Блокнот» из Windows, но также может быть открыт в Microsoft Office Word. В *файле таблицы* будут сохранены только параметры V, U, P и T каждого шага расчета. Этот файл можно открыть в программе Microsoft Office Excel в виде таблицы.

После задания всех вышеперечисленных параметров нажимаем кнопку «Старт», после чего открывается окно MS DOS, разворачиваем это окно на весь экран сочетанием клавиш Alt+Enter, поскольку программа АСТРА работает в полноэкранном режиме. Программа-оболочка А-ДВС передает программе АСТРА начальные параметры и запускает термодинамический расчет.

Из расчета по программе АСТРА имеем $V_0 = 1.1879 \text{ м}^3/\text{кг}$, $U_0 = -115,84 \text{ кДж}/\text{кг}$.

В программе А-ДВС вычисляется $\Delta V = h * V_0 = 0.005 * 1.1879 = 0.00594$

Для второго значения (в точке $i=1$) А-ДВС вычисляет

$$U_1 = U_0 + P_0 \Delta V = -115.84 + 1000 * 0.1 - 0.00594 = -115.246 \text{ кДж}/\text{кг}$$

$$V_1 = V_0 + \Delta V = 1.1879 - 0.00594 = 1.1819605 \text{ м}^3/\text{кг}$$

В первой формуле множитель 1000 введен для перевода размерности МПа·м³/кг в кДж/кг. По найденному значению $U_1 = -115.246 \text{ кДж}/\text{кг}$ и $V_1 = 1.1819605$ по программе АСТРА находим $T_1 = 300,6 \text{ К}$ и $P_1 = 0.10071 \text{ МПа}$. По этим значениям А-ДВС вычисляет входные данные U_2, V_2 для следующего шага. Расчет продолжается до последней точки такта сжатия $i=180$ ($V_{180} = 0,11879 \text{ м}^3/\text{кг}$). Расчет такта сжатия завершен. Последнее значение $P_{C180} = 2.4281 \text{ МПа}$; $T_{C180} = 728.38 \text{ К}$; $U_{C180} = 321.4878202 \text{ КДж}/\text{кг}$.

Сгорание топливной смеси. А-ДВС в программе АСТРА задает $U_2 = U_{C180} = 321.4878202 \text{ КДж}/\text{кг}$, $V_{180} = 0,11879 \text{ м}^3/\text{кг}$. Состав топливной смеси (2) без ограничений на мольные компоненты, т.е. исключается директива *Del*. В результате расчета по программе АСТРА получаем адиабатическую температуру $T_1 = 3058.2$, $P_1 = 8.8509 \text{ МПа}$.

Расширение. Для первой точки $i=180$ имеем приведенные выше величины $U_{180}=321.4878202 \text{ К Дж/кг}$ $P_{180}= 8.8509 \text{ МПа}$.

А-ДВС вычисляет:

$$U_{179}=U_{180}-P_{180}\Delta V=321,4878202-1000\cdot 8,8509\cdot 0.00594=268,9134742\text{кДж/кг.}$$

Для шага $i=179$ задаем $U_{179}=268.917 \text{ кДж/кг}$, $V_{179}=0.1247295$ топливный состав (2), $Del=0$, в программе АСТРА получаем $T_{179}=3033.3\text{К}$, $P_{179}=8.3545\text{МПа}$.

Расчет продолжается при расширении до $i=0$.

После успешного проведения всех расчетов окно MS DOS с программой АСТРА будет закрыто и на экране вновь появится окно программы А-ДВС, где в таблице будут записаны параметры V, U, P и T на основных этапах цикла.

Если работа программы А-ДВС будет прервана по какой-то причине, то при повторном запуске программы-оболочки можно будет продолжить расчет или начать новый.

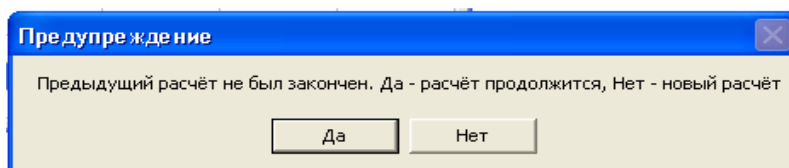
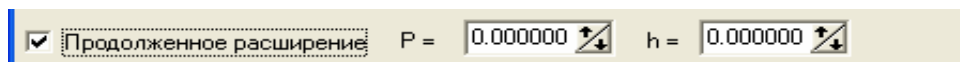


Рис. 2. Диалоговое окно.

При расчете цикла ДВС с продолженным расширением нужно поставить метку в поле *Продолженное расширение*, тогда станут активными поля для ввода давления P – минимальное давление, ограничивающее продолженное расширение, и поле h - шаг, с которым будет проводиться продолженное вычисление.



По результатам расчетов (которые берутся из файлов таблицы) построим диаграммы давления и температуры.

По полученным результатам вычисляется термический коэффициент полезного действия

$$\eta=A/q_{max}, \quad (3)$$

где q_{max} - максимальная теплота сгорания топлива

$$q_{max} = -[H_2] \cdot \Delta_f H^0 [H_2O, г, 298.15],$$

$[H_2]=14,075$ - количество молей водорода в исходной топливной смеси [моль/кг],

$\Delta_f H^0 = -241,8 \text{ кДж/моль}$ - стандартная энтальпия образования паров воды.

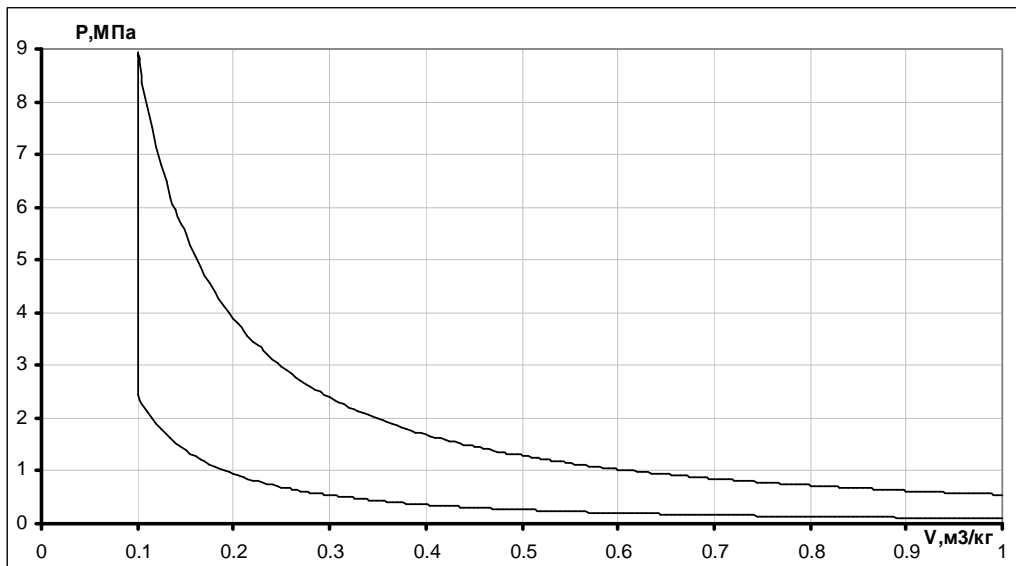


Рис 3. Диаграмма давления ДВС

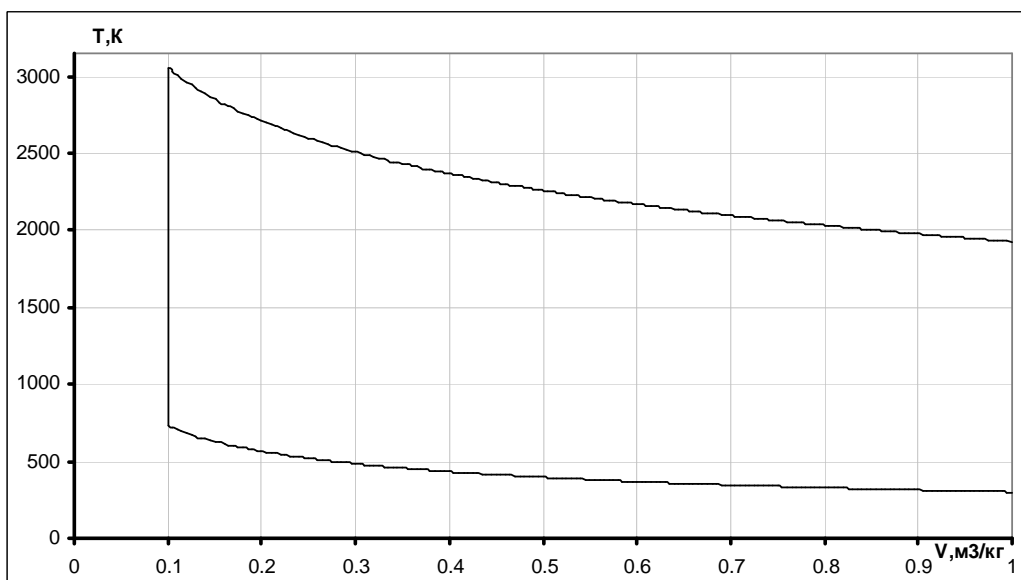


Рис. 4. Диаграмма температуры ДВС.

A – работа расширения-сжатия.

$$A = \oint_V PdV \approx \Delta V \sum_{i=1}^{180} (P_{ip} - P_{ic}),$$

P_{ip} - на стадии расширения, P_{ic} - на стадии сжатия.

В нашем примере $A=1504,57$ кДж/кг; $q_{max}=3403,43$ кДж/кг; $\eta=44,1\%$.

Оценка точности вычисления

Сопоставим результаты термодинамического анализа теоретического цикла ДВС полученные при разных значениях шага h . С уменьшением шага h точность расчетов возрастает, поскольку увеличивается число точек на стадиях сжатия и расширения (при шаге $h=0,01$ вычисляются 90 точек на стадии сжатия и 90 точек на стадии расширения, $h=0,005$ – 180 точек, $h=0,0025$ – 360 точек).

Сравнение термодинамических параметров теоретического цикла ДВС при заданном шаге

Таблица 1.

шаг	U _c	U _г	U _р	P _c	P _г	P _р	T _c	T _г	T _р	A _c	A _р	A	η
0.01	312.5167	312.51	1675.83	2.3512	8.526	0.64484	720.02	3064.2	1909.6	442,11	1938,94	1496,83	44,0
0.005	321.48782	321.48	1649.95	2.4281	8.8509	0.6506	728.17	3067.9	1926.6	444,06	1948,63	1504,57	44,1
0.0025	325.7715	325.77	1640.23	2.5001	9.348	0.65347	732.37	3069.8	1935	445.11	1953.64	1508.52	44.3

Из табл.1 следует, что принципиальных различий результатов нет. Погрешность составляет 02-4,5 %.

Выводы. Создана программа-оболочка А-ДВС автоматизированного расчета термодинамических параметров теоретического цикла ДВС детальным методом по программе АСТРА 4/рс, позволяющая сократить время вычислений и избежать механических ошибок из-за человеческого фактора.

Литература:

1. Луканин В.Н., Шатров М.Г., Алексеев И.В. Двигатели внутреннего сгорания: В 3 т.: Т.3. Компьютерный практикум: Учебник для студ. вузов, и др., /Под редакцией Луканина В.Н.. М.: Высш. шк., —МАДИ, 1995. -225 с
2. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей, - Киев: Наукова думка, 1984.-143 с.
3. Пришвин И.П., Толчин А.Г. Тепловой и динамический расчет двигателя внутреннего сгорания. -М.: МАДИ, 1995.-9с.
4. Сотников А.Л., Кондратский В.Л. DVSWin. Version 1. -Донецк, ДонГТУ, 2001. -4 с.
5. Трусов Б.Г. Моделирование химических и фазовых равновесий при высоких температурах. (ASTRA. 4/рс). - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 1995. -43с.
6. Автомобильные двигатели. /Архангельский В.М., Рихерт М.М., Воинов А.Н. и др. - М.: Машиностроение, 1977.-591с.