

О СТАТЬЕ В.И. ИВЕНКО «АНАЛИЗ НЕСООТВЕТСТВИЯ ИНДИКАТОРНОГО КПД ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗАКОНАМ ТЕРМОДИНАМИКИ»

(«Двигателестроение», № 2, 2004 г.)

Ю.Г. Горнушкин, к.т.н., доц.; М.С. Столбов, к.т.н., доц.,
кафедра ДВС Владимирского государственного университета

Как справедливо отмечает автор статьи, при анализе циклов поршневых ДВС не принято учитывать наличие дополнительного «внутреннего» источника теплоты, подводимой к рабочему телу, а именно тепловыделения в результате действия сил внутреннего трения в газе. Объясняется это сравнительно незначительной скоростью движения газа во внутрицилиндровом пространстве и, соответственно, малым количеством выделяющейся тепловой энергии.

Анализ цикла двигателя будет более строгим и корректным, если учесть тепловыделение в массе рабочего тела, что и пытался сделать автор.

Однако принципиально неверен тезис автора о том, что «трение газа в объеме цилиндра увеличивает индикаторную работу». Поскольку первоисточником индикаторной работы является теплота q_1 , выделяющаяся в результате сгорания топлива, то механическая энергия $l_{тр}$, необходимая для преодоления сил внутреннего трения в газе, является частью именно этой теплоты q_1 . Далее в процессе трения энергия выделяется в массу газа снова в тепловой форме и, разумеется, в эквивалентном количестве: $q_{тр} = l_{тр}$. Таким образом, ни о каком увеличении индикаторной работы говорить не приходится — результат по величине равен затратам.

Вывод же автора о том, что традиционное уравнение для η_i дает завышенную оценку эффективности цикла двигателя, вполне справедлив.

Этот вывод можно получить более простым и очевидным способом, чем это сделано в статье.

Выражение для КПД теоретического цикла двигателя (термического КПД η_t) имеет вид:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_t}{q_1},$$

где q_1 и q_2 — соответственно количества теплоты, получаемой и отдаваемой рабочим телом от источников теплоты; $l_t = q_1 - q_2$ — количество теплоты, преобразованной в механическую работу.

Индикаторный же КПД (в традиционном его понимании) оценивает степень совершенства преобразования энергии в цилиндре реального двигателя, учитывая наличие принципиально устранимых тепловых потерь (неполнота сгорания топлива, отдача теплоты в систему охлаждения и др.). Таким образом, уравнение индикаторного КПД в развернутом виде выглядит так:

$$\eta_i = \frac{q_1 - q_2 - q_{\text{тепл}}}{q_1} = \frac{l_t - q_{\text{тепл}}}{q_1} = \frac{l_i}{q_1}, \quad (1)$$

где $q_{\text{тепл}}$ — названные выше тепловые потери; $l_t - q_{\text{тепл}} = l_i$ — индикаторная работа цикла.

Для учета теплоты внутреннего трения в традиционное уравнение (1) следует ввести коррективы: индикаторную работу l_i , (числитель уравнения) уменьшить на величину работы $l_{тр}$, затраченной на преодоление сил трения, а знаменатель увеличить на эквивалентную величину $q_{тр}$ — количество теплоты, выделившейся в результате внутреннего трения. В результате получим выражение для коэффициента эффективности преобразования тепловой энергии в механическую в цикле двигателя с учетом внутреннего трения в рабочем теле. Обозначив названный коэффициент $\eta_{i\text{тр}}$ (индикаторный КПД с учетом трения в газе), получим:

$$\eta_{i\text{тр}} = \frac{l_i - l_{тр}}{q_1 + q_{тр}}, \quad (2)$$

Сопоставление уравнений (2) и (1) с очевидностью показывает, что всегда (если $l_{тр} \neq 0$): $\eta_i > \eta_{i\text{тр}}$.

Таким образом, подтверждается суждение автора статьи о том, что общепринятое выражение для индикаторного КПД действительно дает завышенный результат по сравнению с тем случаем, когда учитывается наличие сил внутреннего трения в газе.

Однако нельзя согласиться с мнением автора о том, что общепринятое понятие индикаторного КПД не соответствует основным законам термодинамики. Конечно же, и уравнения, приведенные в рассматриваемой статье, и традиционное понятие индикаторного КПД, и наше уравнение для $\eta_{i\text{тр}}$ никоим образом не противоречат ни первому, ни второму законам термодинамики.

Индикаторный КПД с учетом трения ($\eta_{i\text{тр}}$) можно считать показателем, более корректно оценивающим эффективность преобразования теплоты в механическую работу в цикле реального двигателя по сравнению с традиционным понятием индикаторного КПД.

В определенной степени объективным показателем эффективности рабочего процесса можно считать и так называемый внутренний КПД реального цикла, предлагаемый автором статьи.