

УТОЧНЕННАЯ МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОДУВКИ ВОЗДУХОМ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ГАЗООБМЕНА ДВИГАТЕЛЕЙ С ДВОЙНЫМ ВЫПУСКОМ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Балашов А.А., Свистула А.Е., Яковлев С.В.

В работе представлена уточненная методика обработки результатов статистической продувки воздухом проточных систем выпуска ОГ для ДОГ с учетом газодинамических потерь в адиабатном потоке.

Ключевые слова: двигатель, статическая продувка, система газообмена, методика обработки результатов.

Введение

Оценку и сравнения газодинамического качества и расходных характеристик основных элементов газоздушных трактов типа выпускной «канал – клапан» или выпускное окно в гильзе цилиндра производят, как правило, по результатам статической продувки их воздухом [1-4].

Правомочность такой оценки по результатам продувки элементов систем газообмена стационарным потоком воздуха (на двигателе поток газа в системе выпуска ОГ в системе пульсирующий) подтверждается в работах [2-4].

На двигателе, оборудованном двойным выпуском отработавших газов (ОГ), продувается отдельно выпускной канал с клапаном основного выпуска ОГ и окно в гильзе цилиндра дополнительного выпуска ОГ. Двигатель, оборудованный двойной системой выпуска ОГ, имеет также и другое рабочее название двигателя с окном в гильзе – ДОГ [5].

Разработка методики

В процессе выполнения продувки воздухом выпускного канала и окна в гильзе у 4-тактных ПДВС, измерение статического давления на выходе потока P_2 производится в спрямляющем патрубке (рисунок 1).

При осуществлении продувок желательно проводить измерение следующих величин:

- массового расхода воздуха G_B через любую продуваемую систему;
- температуры T_1^* и давления P_1^* заторможенного потока во входном сечении;
- статического P_2 давления потока на выходе из продуваемой системы;
- проходного сечения спрямляющего патрубка в выходном сечении потока f_2 ;

- статического P_2 и заторможенного P_2^* давлений одновременно на выходе потока из спрямляющего патрубка, при отсутствии измерения массового расхода воздуха G_B , с целью его определения расчетным путем.

Таким образом, на первом этапе использования данных, полученных с помощью статической продувки проточных систем ПДВС, предусматривается решение вопроса о применении какой-то из методик обработки данных статической продувки (изоэнтальной или адиабатной).

По существующей методике обработки данных статической продувки можно определить коэффициент расхода μ и эффективное проходное сечение μf , по которым проводят оценку и сравнение газодинамического качества проточных систем, но использовать эти данные для проведения дальнейших расчетов процессов газообмена для ПДВС не целесообразно, так как в основу существующей методики положен изоэнтальный процесс расширения рабочего тела в потоке без совершения внешней работы.

Однако, когда появляется потребность, кроме оценки и сравнения газодинамического качества проточных систем ПДВС, еще и в получении теоретически обоснованных коэффициентов и величин с учетом газодинамического сопротивления и внешнего теплообмена, тогда используются разработанные для этой цели уточненная методика обработки данных статической продувки воздухом не в изотермической, а в адиабатной постановке [1].

Таким образом, следующим этапом обработки данных статической продувки предусматривается определение коэффициентов

газодинамических потерь ξ , расхода μ и скорости φ , показателей адиабатного процесса расширения воздуха m или политропного процесса расширения газа в потоке с внешним теплообменом n , а также изменение энтропии ΔS .

При этом, дополнительно к измеряемым параметрам необходимо определить абсолютную термодинамическую температуру в выходном сечении потока T_2 . С этой целью решается совместно три уравнения:

- уравнение неразрывности

$$G_{\partial} = F_2 \cdot W_2 \cdot \rho_2; \quad (1)$$

- уравнение состояния

$$P_2 = R \cdot T_2 \cdot \rho_2; \quad (2)$$

- уравнение энергии

$$T^* = T_2 + W_2^2 / 2c_p, \quad (3)$$

где G_{∂} , W_2 и ρ_2 - соответственно действительные расход, скорость рабочего тела и плотность в выходном сечении; R - удельная газовая постоянная.

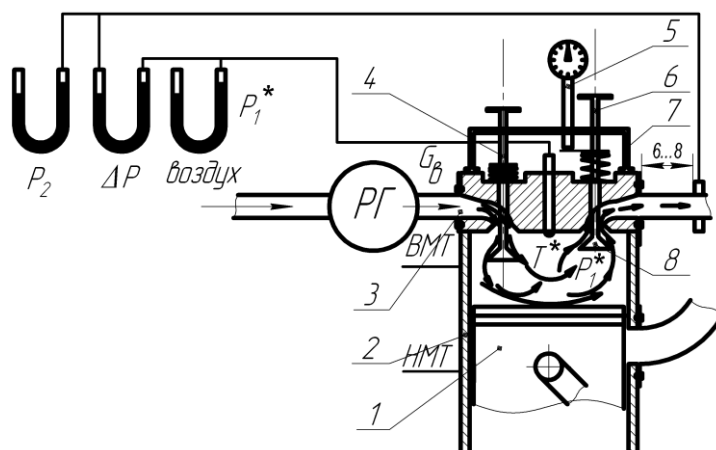


Рисунок 1 - Схема для продувки основного выпускного канала с клапаном двигателя, оборудованного двойной системой выпуска ДОГ:
1- поршень; 2- цилиндр; 3- впускной канал; 4- впускной клапан; 5- часовой индикатор типа ИЧ; 6- нажимное устройство; 7- стойка; 8- выпускной клапан

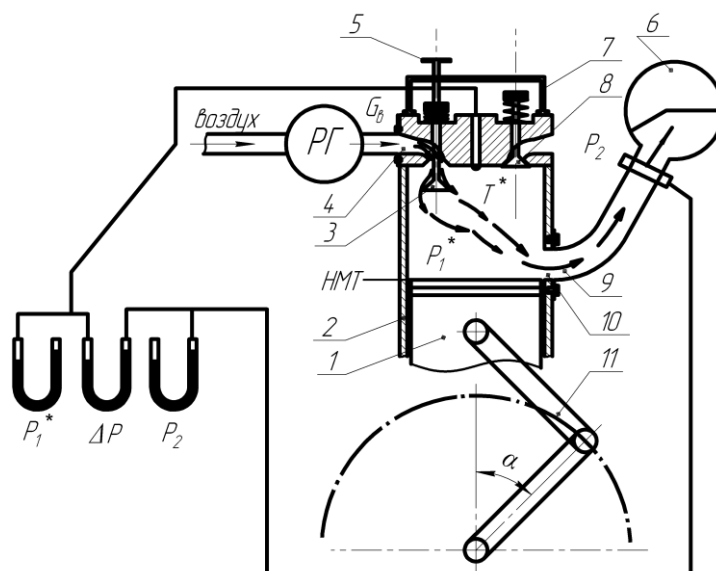


Рисунок 2 - Схема установки для продувки дополнительного выпускного канала воздухом ДОГ:
1- поршень; 2- цилиндр; 3- впускной клапан; 4- впускной канал; 5- нажимное устройство; 6- выпускной коллектор; 7- стойка; 8- выпускной клапан; 9- дополнительный выпускной канал; 10- выпускное окно в цилиндре; 11- шатун; α- угол ПКВ

УТОЧНЕННАЯ МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
СТАТИЧЕСКОЙ ПРОДУВКИ ВОЗДУХОМ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ГАЗООБМЕНА ДВИГАТЕЛЕЙ
С ДВОЙНЫМ ВЫПУСКОМ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

В основу разработанной уточненной методики обработки данных статических продувок проточных систем ПДВС воздухом и при выводе выражения T_2 положены следующие допущения:

- процесс расширения воздуха в потоке принимается адиабатическим;
- показатель изэнтропного процесса расширения воздуха в потоке k , а следовательно и удельные теплоемкости при постоянном давлении c_p и объеме c_v принимаются постоянными по потоку;
- используемый при проведении продувок воздух подчиняется уравнению Клапейрона-Менделеева.

В результате совместного решения уравнений (1), (2) и (3) получим квадратное уравнение для определения статической температуры в выходном сечении проточной системы

$$T_2^2 + BT_2 - BT^* = 0, \quad (4)$$

действительным корнем которого будет

$$T_2 = \left(\sqrt{4T^*/B + 1} - 1 \right) B/2, \quad (5)$$

где $B = 2c_p \left(\frac{P_2 F_2}{R G_B} \right)^2$.

По известной абсолютной термодинамической температуре T_2 определяем число Маха

$$M = \sqrt{\frac{2}{k-1} \cdot \frac{T_2}{B}}. \quad (6)$$

Замеренные P_2 и расчетные M параметры позволяют определить заторможенное давление в выходном сечении потока P_2^* по известному в газодинамике выражению, тогда будем иметь

$$P_2^* = P_2 \cdot \left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot M^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (7)$$

Таким образом, располагая замеренными параметрами потока при продувке P_1^* и P_2 , а также расчетными параметрами M и P_2^* , определяем коэффициент газодинамических потерь ξ по выражению

$$\xi = \frac{\ln(P_2^*/P_1^*)}{\ln(P_2/P_2^*)}, \quad (8)$$

а также показатель адиабатного процесса расширения воздуха m по зависимости

$$m = \frac{k \cdot (\xi + 1)}{k\xi + 1} \quad (9)$$

и приращения энтропии ΔS в потоке

$$\Delta S = c_p \cdot \lg \frac{2}{2 - \xi \cdot M^2 \cdot (k-1)}. \quad (10)$$

Далее определим коэффициент расхода μ

$$\mu = \frac{G_{вд}}{G_{BT}} = \varphi \sigma \cdot \exp\left(\frac{\Delta S}{kR}\right)$$

где $\sigma = P_2^*/P_1^*$ - коэффициент восстановления полного давления; $\varphi = 1/\sqrt{\xi+1}$ - коэффициент скорости.

Помимо этого, если есть в этом необходимость, можно определить действительную W_d и теоретически возможную скорость W_T в потоке, а также другой коэффициент скорости λ и другие показатели адиабатного процесса расширения воздуха в потоке, такие как количество выделившейся в потоке теплоты q_r , коэффициент внутреннего относительного теплообмена ψ , работу расширения l и прочие.

Следующий этап применения уточненной методики обработки данных статической продувки воздухом заключается в разделении суммарных газодинамических потерь на составляющие элементы продуваемых проточных систем с помощью энтропии, так как она обладает свойством аддитивности, т.е. ее можно суммировать по элементам, составляющим проточную систему. С этой целью дополнительно к измеряемым параметрам необходимо измерить статическое давление в конце каждого элемента, составляющего проточную систему и проходное сечение. Контроль правильности расчета ведется по суммарному изменению энтропии ΔS во всей проточной системе.

Статическая температура в выходном сечении потока может быть также определена по выражению

$$T_2 = T_2^* \cdot \left(\frac{P_2}{P_2^*} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (11)$$

Далее можно определить число Маха по зависимости

$$M = \sqrt{\frac{2}{k-1} \cdot \frac{\Delta T}{T_2}}, \quad (12)$$

где $\Delta T = T^* - T_2$ - перепад абсолютных заторможенной и статической температур в выходном сечении потока.

Для политропного процесса расширения газа в потоке определяют коэффициент газодинамических потерь ξ и показатель политропного процесса расширения газа n по одной из зависимостей

$$n = \frac{k \cdot (\xi + 1)}{k \cdot \xi + 1}, \quad (13)$$

$$n = k - (k - 1) \cdot \psi_{\Sigma}, \quad (14)$$

где ψ_{Σ} - коэффициент суммарного относительного внешнего теплообмена в открытой термодинамической системе в политропном процессе.

Параллельно с определением перечисленных параметров и коэффициентов, определим коэффициент внешнего теплообмена α_T по результатам измерения

$$\alpha_T = \frac{i_2^*}{i_1^*}, \quad (15)$$

а также приращение энтропии ΔS в потоке по выражениям

$$\Delta S = c_p \cdot \ln \left[\frac{2}{2 - \xi \cdot M^2 \cdot (k - 1)} \right] = \quad (16)$$

$$c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} = R \cdot \left(\ln \frac{P_1^*}{P_2^*} + \ln \frac{P_2}{P_1} \right),$$

где T_T и P_T - соответственно, статические давление и температура теоретических достижимых параметров в изэнтропном процессе расширения газа в потоке.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на базе полученных зависимостей (9,10,11 и 12) для определения величин и коэффициентов, характеризующих

газодинамические потери в потоке, можно создать уточнённую методику их определения в адиабатной постановке, и тем самым использовать их в математических моделях [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашов А.А. Совершенствование расходных характеристик газозвуковых трактов поршневых ДВС: дисс. ... докт. техн. наук / А.А. Балашов.- АлтГТУ им.И.И. Ползунова, Барнаул, 2008.- 395 с.
2. Глаголев Н.М. Рабочие процессы двигателей внутреннего сгорания / Н.М. Глаголев.- М.: Машгиз, 1965.- 480 с.
3. Грудский Ю.Г. Методы оценки совершенства выпускных каналов дизелей / Ю.Г. Грудский, В.И. Шайкин // Труды НАМИ.- М., 1979.- Вып. 176.- С. 130-140.
4. Петриченко Р.М. Физические основы внутрицилиндровых процессов в двигателях внутреннего сгорания / Р.М. Петриченко.- Л.: ЛГУ, 1983.- 244 с.
5. Жмудяк Л.М. Способ работы четырёхтактного двигателя внутреннего сгорания / Л.М. Жмудяк.- Патент РФ №2024773. М.кл. F02B 37/00 N4796343, заяв. 28.02.90;; опубл. 15.12.94.- Бюл. № 23, 1994.

Балашов А.А., д.т.н., доц.,
Свистула А.Е., д.т.н., проф.,
Яковлев С.В.,
 АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул,
 e-mail: D21200403@mail.ru, тел. (3852)260516.

Работа выполнена в порядке реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы