

УДК 621.43.003

С.А. Ерощенко, д-р техн. наук, В.А. Корогодский, канд. техн. наук, О.В. Василенко, инж.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАБОЧЕГО ТЕЛА НА ТАКТЕ СЖАТИЯ ДЛЯ ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Введение и постановка проблемы

Двухтактные ДВС с кривошипно-камерной продувкой являются наиболее распространенным видом двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Они получили широкое распространение в народном хозяйстве благодаря таким достоинствам как меньшая стоимость, большая удельная мощность и меньшие массо-габаритные показатели по сравнению с четырехтактными ДВС. При этом у двухтактных ДВС упрощена система смазки и нет сложной системы газораспределения.

Для качественного и объективного моделирования процессов газообмена, смесеобразования и сгорания двухтактных ДВС с кривошипно-камерной продувкой необходимо учитывать теплофизические свойства реального рабочего тела.

Анализ публикаций

В настоящее время одним из факторов, определяющих адекватность результатов математического моделирования рабочего процесса двухтактных ДВС, является необходимость учитывать теплофизические свойства рабочего тела на такте сжатия, в частности – теплоемкость. Существующие методики расчета теплоемкости [1, 2] определяют её как усредненную величину при средней температуре на такте сжатия. Поэтому для получения достоверных данных о процессах, протекающих в цилиндре [3,4] на такте сжатия, необходимо иметь значения изменения теплоемкости рабочего тела в зависимости от температуры с учетом нагрузки и свойств газов.

Цель и задачи исследований

Целью настоящих исследований являлось определение теплофизических свойств рабочего тела, в частности, истинной массовой изобарной теплоемкости (C_{pm}) на такте сжатия для двигателя ДН-4 с искровым зажиганием (ИЗ) с внешним смесеобразованием (карбюратор) и с учетом изменения коэффициента остаточных газов (γ), суммарного коэффициента избытка воздуха (α_s), значений разрежения на впуске (ΔP_s) в зависимости от нагрузки.

Обработка и анализ экспериментальных данных

Экспериментальные исследования проводились на двухтактном одноцилиндровом двигателе ДН-4 (1Д 8,7/8,2) с ИЗ, воздушным охлаждением и кривошипно-камерной продувкой производства Мелитопольского завода “Гидромаш” при работе по нагрузочной характеристике при частоте вращения коленчатого вала $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$. Исследования проводились на кафедре ДВС НТУ “ХПИ”.

Анализ проб газов проводился при отборе их из цилиндра на такте сжатия и из выпускной системы двигателя газоанализатором СТ 300.02. Класс точности газоанализатора – 1. Используемый газоанализатор позволяет измерить объемные доли следующих газов: O_2 , CO , CO_2 и C_mH_n . Полученные значения концентраций указанных газов в конце такта сжатия и на выхлопе позволили рассчитать значения коэффициента остаточных газов по известной методике [5, 6]. Суть методики заключается в том, что, имея значения объемных процентов газовых компонентов смеси, можно с достаточной точностью определить значения коэффициента остаточных газов по формуле:

$$\gamma = \frac{1}{\frac{r_{CO}^{вых} + r_{CO_2}^{вых}}{r_{CO}^{сж} + r_{CO_2}^{сж}} - 1}, \quad (1)$$

где $r_{CO}^{вых}$ – объемная доля CO в отработавших газах;

$r_{CO_2}^{вых}$ – объемная доля CO_2 в отработавших газах;

$r_{CO}^{сж}$ – объемная доля CO в конце такта сжатия;

$r_{CO_2}^{сж}$ – объемная доля CO_2 в конце такта сжатия.

Используя значения объемных долей газов, полученных в результате газового анализа, была построена зависимость $\gamma = f(P_e)$, которая представлена на рис. 1.

Полученные значения коэффициента остаточных газов для ДВС ДН-4 с карбюраторной системой питания изменяются в интервале от 0,25 до 0,166 с повышением нагрузки от $P_e = 0,14 \text{ МПа}$ до $P_e = 0,45 \text{ МПа}$. При внешнем смесеобразовании, во время отбора газа на анализ, суммарный коэффициент избыт-

ка воздуха (α_2) изменялся от 0,62 до 0,72. Максимальное значение коэффициента остаточных газов $\gamma = 0,25$, составило при нагрузке $P_e = 0,14$ МПа. С ростом нагрузки значения коэффициента остаточных газов снижаются до $\gamma = 0,166$, что соответствует значениям нагрузки $P_e = 0,45$ МПа. Результаты экспериментальных исследований двигателя с карбюратором показывают, что с ростом нагрузки очистка цилиндра от продуктов сгорания улучшается, и коэффициент остаточных газов снижается.

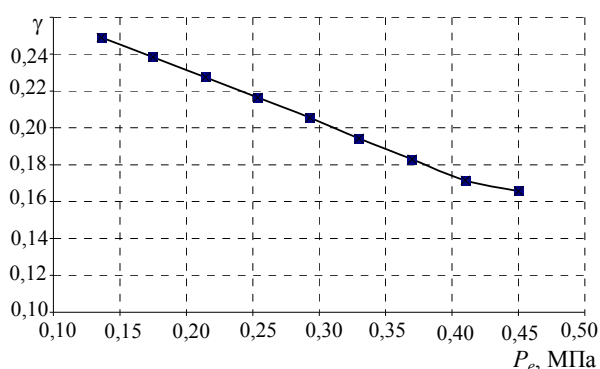


Рис. 1. Значения коэффициента остаточных газов (γ) в зависимости от нагрузки двигателя при $n=3000 \text{ мин}^{-1}$

Для определения теплоемкости рабочего тела на такте сжатия при внешнем смесеобразовании необходимо учитывать, что в цилиндре находится топливоздушная смесь и продукты сгорания. При этом предполагаем, что имеет место полное смешение свежего заряда с продуктами сгорания. Содержание продуктов сгорания в свежей смеси будет учитывать коэффициент остаточных газов (рис. 1). Тогда, получив значения коэффициента остаточных газов (γ), можно определить теплофизические свойства рабочего тела в цилиндре двигателя на такте сжатия. То есть, речь идет об истинной массовой изобарной теплоемкости C_{pm} . В данном исследовании использовалась известная формула для определения истинной массовой изобарной теплоемкости [7]:

$$C_{pm} = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i \cdot t) \cdot m_i, \quad (2)$$

где a_i, b_i – значения коэффициентов в интерполяционных формулах для изобарной теплоемкости; t – текущая температура смеси, °С; m_i – массовая доля компонента газовой смеси.

Для расчета теплоемкости рабочего тела на такте сжатия при внешнем смесеобразовании необходимо теоретически определить массу воздуха

(M^0) для сгорания 1 кг топлива. Для двигателя с карбюратором продувка осуществляется смесью воздуха с топливом. Тогда топливоздушная смесь будет включать массовые доли следующих газов: $m_{N_2}, m_{O_2}, m_{H_2O}, m_T$, которые определяются расчетным путем, исходя из значений α_2 . Так как при внешнем смесеобразовании сформирована богатая топливоздушная смесь ($\alpha < 1$), то при сгорании в составе продуктов сгорания имеются следующие газы: $m_{CO_2}, m_{H_2O}, m_{N_2}, m_{CO}, m_{CH}, m_{NOx}$.

Имея значения (M^0), объема продуктов сгорания ($M_{np.cz}$) и состав газовой смеси, можно определить значения истинной массовой изобарной теплоемкости газов по формуле (2). Полученные значения C_{pm} топливоздушного заряда и C_{pm} продуктов сгорания представляют собой интерполяционные зависимости.

Приведенная формула (2) не учитывает содержание в газовой смеси в конце такта сжатия присутствия остаточных газов, попавших в рабочую смесь из-за несовершенства организации процесса газообмена. Отрабатывшие газы оказывают существенное влияние на теплоемкость смеси. С учетом концентрации остаточных газов формула (2) примет следующий вид:

$$C_{pm} = (a_{cm}(1-\gamma) + a_{np.cz} \cdot \gamma) + (b_{cm}(1-\gamma) + b_{np.cz} \cdot \gamma), \quad (3)$$

где a_{cm}, b_{cm} – значения коэффициентов для топливоздушного заряда в интерполяционных формулах для изобарной теплоемкости; $a_{np.cz}, b_{np.cz}$ – значения коэффициентов для продуктов сгорания в интерполяционных формулах для изобарной теплоемкости; γ – коэффициент остаточных газов (рис.1).

С учетом формулы (3) были получены следующие интерполяционные формулы для определения теплоемкости смеси на такте сжатия:

$$P_e = 0,15 \text{ МПа} \rightarrow C_{pm} = 1,03223 + 0,000208 \cdot t$$

при $R^2 = 1$, кДж/кг·К;

$$P_e = 0,31 \text{ МПа} \rightarrow C_{pm} = 1,03873 + 0,00026 \cdot t, \quad (4)$$

при $R^2 = 1$ кДж/кг·К;

$$P_e = 0,41 \text{ МПа} \rightarrow C_{pm} = 1,06377 + 0,00026 \cdot t,$$

при $R^2=1$ кДж/кг·К.

По полученным интерполяционным зависимостям (4) получены графики изменения C_{pm} в зави-

симости от температуры (рис.2.)

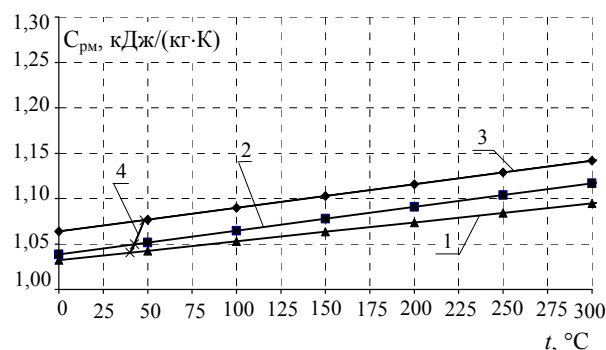


Рис.2. Теплоемкость рабочего тела на такте сжатия при изменении нагрузки по нагрузочной характеристике при $n=3000 \text{ мин}^{-1}$

1– изменение C_{pm} при нагрузке $P_e=0,15$ МПа; 2 – изменение C_{pm} при нагрузке $P_e = 0,31$ МПа; 3 – изменение C_{pm} при нагрузке $P_e = 0,41$ МПа; 4 – изменение C_{pm} по нагрузочной характеристике в момент закрытия выпускного окна

Представленные на рис. 2. интерполяционные зависимости описывают изменение истинной массовой изобарной теплоемкости рабочего тела в карбюраторном двигателе. При построении зависимостей (рис. 2) уровень величины достоверности аппроксимации составил $R^2 = 1$. Представленная на рис. 2. интерполяционная зависимость 4 ($C_{pm} = 0,8586 + 0,0045 \cdot t$ при $R^2 = 0,9953$) отображает увеличение теплоемкости рабочего тела на такте сжатия с ростом нагрузки от $P_e = 0,15$ МПа до $P_e = 0,41$ МПа и позволяет определить значения истинной массовой изобарной теплоемкости в интервале изменения нагрузки.

Направление дальнейших исследований

Истинная массовая изобарная теплоемкость топливоздушнoй смеси зависит от изменения суммарного коэффициента избытка воздуха, наличия продуктов сгорания в свежей смеси и их состав, что влияет на протекание процессов сгорания. Поэтому направление дальнейших исследований целесообразно проводить на обедненных и расслоенных топ-

ливовоздушных смесях, что предопределяется организацией внутреннего смесеобразования.

Выводы:

1. Определены значения коэффициента остаточных газов от $\gamma = 0,25$ при $P_e = 0,14$ МПа до $\gamma = 0,166$ при $P_e = 0,41$ МПа для двухтактного двигателя ДН–4 при работе по нагрузочной характеристике при $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$.

2. Получены интерполяционные формулы для определения истинной массовой изобарной теплоемкости смеси газов в цилиндре двигателя ДН–4 на такте сжатия при работе по нагрузочной характеристике при $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ и внешнем смесеобразовании.

3. Полученные значения истинной массовой изобарной теплоемкости могут быть использованы при трехмерном моделировании газодинамической обстановки в двигателе для последующего использования в процессах газообмена, сжатия, смесеобразование и последующего сгорания.

Список литературы:

1. Двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов / [А.С. Хачиян, К.А. Морозов, В.Н. Луканин и др.] – М.: Высшая школа, 1985. – 311 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.
3. Krzysztof Z. Mendera. Thermodynamic properties of working fluid of internal combustion engine / Krzysztof Z. Mendera // Journal of KONES internal combustion engine. – 2004. – №3–4. С.53–60.
4. Krzysztof Z. Mendera. Thermodynamic analysis of spark ignition engine pressure data / Krzysztof Z. Mendera // Journal of KONES internal combustion engine. – 2004. – №3–4. С.45–52.
5. Лебедев С.Е. Исследование продувки двухтактного двигателя методом газовых анализов / С.Е. Лебедев, М.С. Ховах // Дизелестроение. – 1940. – №1,2.
6. Антонов И.В. Методика экспериментального исследования процессов газообмена в двухтактном двигателе / И.В. Антонов // Двигатели внутреннего сгорания. – 1997. – Вып. № 56–57. – С.82–86.
7. Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике / Рабинович О.М. – М.: Машиностроение, 1969. – 376 с.

УДК 612.43.013

В.Г. Солодов, д-р техн. наук, А.А. Хандримайлов, инж.

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ СЖИМАЕМОГО ВЯЗКОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ВО ВПУСКНЫХ КАНАЛАХ И ЦИЛИНДРАХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. Часть I. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД

Введение

Работа посвящена численному моделированию