

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.А. Зуев

Статья посвящена одной из актуальных проблем современного двигателестроения - исследованию локального радиационного теплообмена в камере сгорания дизеля. На основе экспериментальных исследований и теоретического анализа получены характеристики радиационного теплообмена поверхностей деталей цилиндрико-поршневой группы двигателя.

Ключевые слова: двигатель, дизель, радиационный теплообмен.

Относительное количество теплоты, передаваемой деталям цилиндрико-поршневой группы (ЦПГ) в результате радиационного излучения, составляет в среднем за рабочий цикл 20-40 % от суммарной теплопередачи, в зависимости от типа двигателя, степени форсирования, режима работы и других факторов процесса.

Доля радиационного теплообмена в камере сгорания (КС) дизельного двигателя настолько значима, что использование аддитивного подхода при определении полного теплового потока, переданного от рабочего тела в стенки КС, недопустимо. Это обстоятельство было рассмотрено в работе [1].

Причем, вся лучистая теплота передается в течение короткого промежутка времени на линии сгорания-расширения, поэтому тепловоспринимающие поверхности КС испытывают достаточно мощные циклические «тепловые удары» [2].

Величина собственного теплового потока излучения газового объема в прикладных задачах для реального тела (к нему относятся большинство технических материалов) однозначно определяется в соответствии с законом Стефана – Больцмана:

$$E = \varepsilon \sigma_0 T^4, \quad (1)$$

где ε - степень черноты излучателя;
 σ_0 - постоянная Больцмана, Вт/м²·град⁴;
 T - температура излучателя, К.

Лучистый теплообмен в цилиндре дизеля изучал Л.М. Белинский [3]. В его исследованиях главное внимание было уделено эксперименту по оптическому методу измерения излучения в КС дизеля. Им было установлено, что излучение в КС в целом является сплошным, т.е. оно подобно излучению твердого тела, следовательно, излучают в основ-

ном твердые микрочастицы сажи, имеющие температуру отличную от температуры рабочего тела T_∞ .

Общепризнанным является тот факт, что основным излучателем в КС дизеля являются сажистые частицы и трёх-атомные газы конечных продуктов сгорания. Причём те и другие произвольно распределены по объёму КС и образуют единую излучательную систему, представляющую собой газовый объём с взвешенными в нем сажистыми частицами.

Метод исследования лучистого теплообмена в ДВС, предложенный Л.М. Белинским, в дальнейшем был развит рядом ученых (П. Флин, А. Эпплер, С.А. Батурин, В.А. Синицын, В.Н. Ложкин и другие).

На рисунке 1 представлен характер изменения температуры пламени T_{Π} и газа T_{Γ} в цилиндре дизеля в зависимости от его нагрузки по результатам оптического индирования и расчета индикаторной диаграммы.

При исследовании процессов сложного теплообмена в качестве определяющей используют также среднemasсовую температуру газа T_m . В качестве определяющей С.А. Батурин, В.Н. Ложкин [4] использовали температуру частиц сажи, определенная таким образом T_m температура слабо меняется при изменении нагрузочного режима работы дизеля (Рисунок 2).

Очень часто в практических расчётах теплообмена в камере сгорания используют условную температуру – результирующую температуру газов.

Результирующую температуру $T_{\Gamma.рез}$ приближённо для четырёхтактных ДВС можно определить также по формуле [5]:

$$T_{\Gamma.рез} \cong T_{\Gamma.ср} + (0,6...0,8)(T_{\Gamma.ср} - 273), \quad (2)$$

где $T_{г.ср}$ - средняя температура газа, К.

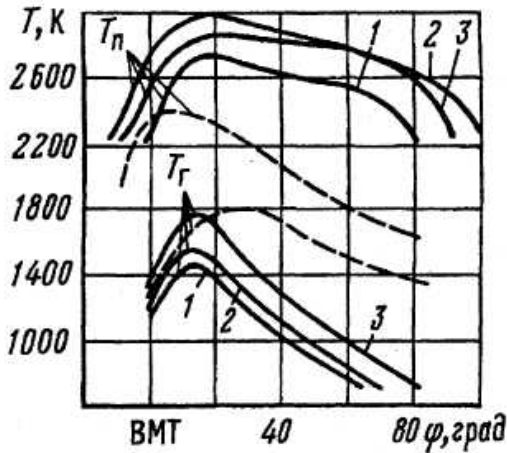


Рисунок 1 - Температуры пламени T_p (по результатам оптического индцирования) и газа T_g (рассчитанные по индикаторной диаграмме):
 1- Эплер ($P_e = 0,23$ МПа);
 2- Батурин ($P_e = 0,46$ МПа);
 3- Трибьёв ($P_e = 0,58$)

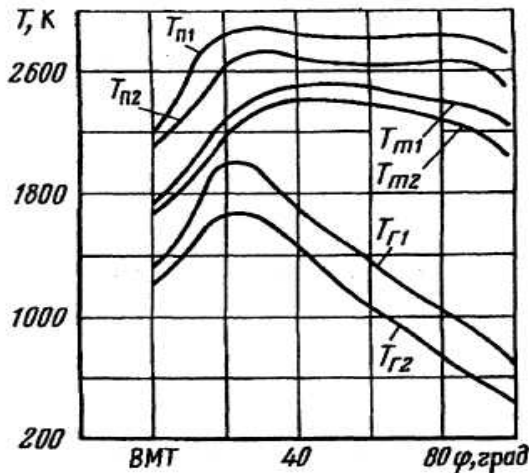


Рисунок 2 - Изменение температур в цилиндре дизеля 8ЧН 13/14 (среднеоптической T_p , среднемассовой T_m пламени и газов T_g):
 1- $n=1700$ мин⁻¹, $P_e=0,6$ МПа;
 2- $n=1700$ мин⁻¹, $P_e=0,23$ МПа

В рабочем цикле ДВС температура газа изменяется в широких пределах. Её значение, осредненное по объему КС, может достигать 2600 К, локальные значения могут быть и выше. Температура самовоспламенения сажи по данным [1] составляет 400 °С.

Исходя из вышеизложенного при изучении температурного состояния сажи в КС и согласуя её с индикаторными «кривыми» сго-

рания и расширения можно прийти к следующему выводу – возможно наличие в КС дизельного двигателя двух фазовых температурных состояний сажи, которые в значительной степени влияют на состояние тепловоспринимающих поверхностей с учетом выгорания сажи. Первая фаза – температура в КС выше температуры выгорания сажи, вторая фаза – когда температура в КС ниже выгорания сажи.

На рисунке 3 представлена диаграмма образования и выгорания сажи в быстроходном дизеле при работе в режиме полной нагрузки [7].

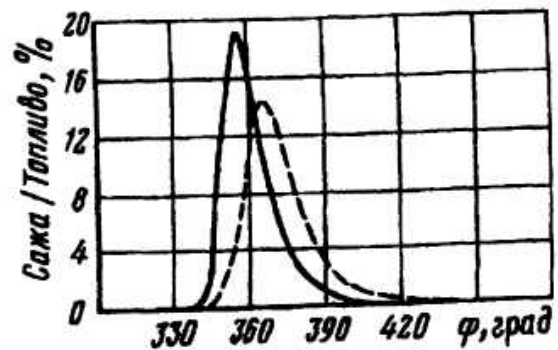


Рисунок 3 - Типичные диаграммы скоростей образования (—) и выгорания (---) сажи в быстроходном дизеле

Исследования по определению степени черноты поверхностей ЦПГ КС во второй фазе проведены автором и представлены в [6]. В работе представлена экспериментальная установка для определения интегральной излучающей способности твёрдых тел, изготовлена на базе современного агрегатного комплекса АПИР-С, в основе работы которого положен метод радиационной пирометрии.

На основании серии экспериментальных циклов разработана методика проведения эксперимента и получена «рабочая» зависимость для расчёта интегральной нормальной степени черноты.

Экспериментальному исследованию подвергались образцы из поршней дизельных двигателей А-41, Д-37, ЯМЗ-740, взятые после 50 часов работы двигателя в условиях реальной эксплуатации.

На рисунке 4 представлена зависимость ϵ образца из поршня двигателя А-41. Полученные значения степени черноты $\epsilon = 0,8$ показывают стабильное значение при температуре от 300 до 400°С. Аналогичный характер распределения имеют данные ϵ образца из поршня двигателя Д-37 (Рисунок 5), где мы

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

отмечаем значения степени черноты равно $\varepsilon = 0,76$ при температурах 300 - 400°C. Образец из поршня двигателя ЯМЗ-740 имеет $\varepsilon = 0,82$ в интервале исследуемых температур (Рисунок 6).

Таким образом, при данной постановке задачи и условиях, в которых проводились исследования, были получены довольно стабильные значения в пределах $\varepsilon = (0,78-0,82)$.

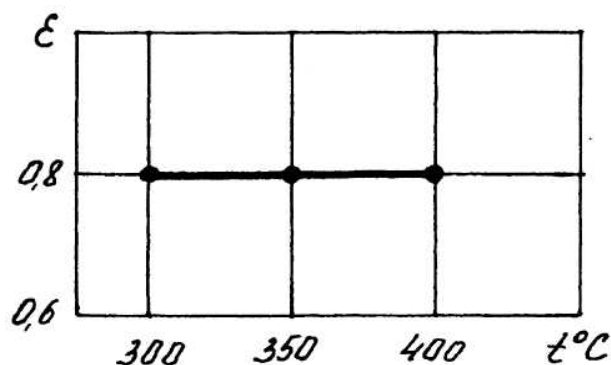


Рисунок 4 - Зависимость степени черноты образца из поршня двигателя А-41 от температуры исследования. КС – типа ЯМЗ

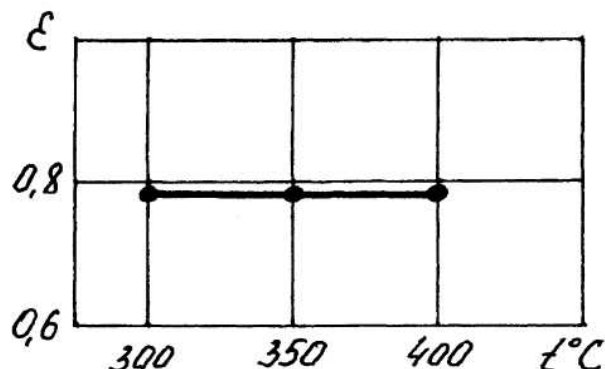


Рисунок 5 - Зависимость степени черноты образца из поршня двигателя Д-37 от температуры исследования (КС – полуразделенная)

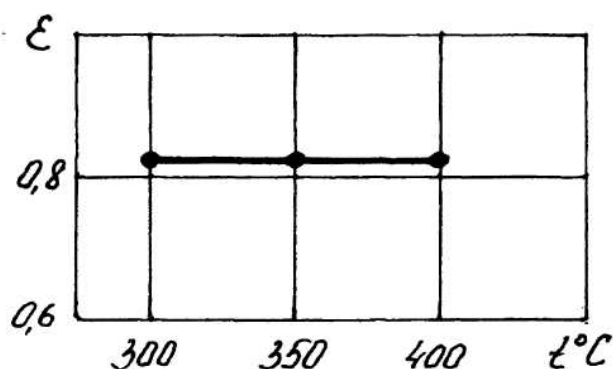


Рисунок 6 Зависимость степени черноты образца из поршня двигателя ЯМЗ-740 от температуры исследования. КС – ЯМЗ-740

Первая фаза температурного состояния выгорания сажи, а также реальные значения степени черноты поверхностей КС автором не рассматривались.

В то же время представляют практический интерес процессы образования нагароотложений и сажеобразования на поверхностях КС. В исследованиях проводимых ранее автором эти вопросы не рассматривались. Нагар образуется в результате неполного сгорания топлива и смазочного масла в обедненных кислородом зонах, оказывает существенное влияние на протекание рабочего процесса.

Механизм сажеобразования рассмотрен в работе [8]. При сжигании 1 кг дизельного топлива в среднем получается 3–5 г сажи. Размеры частиц сажи составляют 0,01–1,0 мкм. Визуальные наблюдения с помощью электронного микроскопа показали, что форма частиц сажи близка к сферической. Часто они сгруппированы в ансамбль из нескольких шарообразных частиц, напоминающих по внешнему виду кластер или рыхлый комок [8].

Из области турбулентной диффузии, представляющей собой совокупность вихрей, охватывающих частицы газа и сажи, вырывается частица сажи, обладающая наиболее высокой энергией. Покидая окружающий ее вихрь, она перемещается на расстояние S , пока не попадет на поверхность стенки (Рисунок 7). Частицы на поверхности стенки (т.е. образующиеся нагароотложения) наиболее сильно удерживаются на тех участках, где в результате окисления топлива и смазочного масла образуются тонкие смолисто-лаковые пленки.

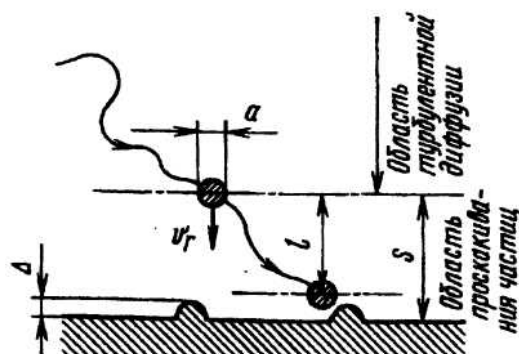


Рисунок 7 - Схематическое изображение осаждения частицы сажи на поверхности стенки

Выводы

1. На основании вышеизложенного имеет место предположение о наличии двух фазовых температурных состояний сажи в КС дизеля.

2. Исследования по определению степени черноты поверхностей ЦПГ КС во второй фазе проведены автором и представлены в работе [6].

3. Присутствие выгорания сажи в дизеле (Рисунок 3) позволяет говорить о том, что степень черноты поверхностей деталей ЦПГ формируется степенью черноты материала детали КС и состоянием нагара на поверхности.

4. Следовательно требуется проведение исследований по определению степени черноты деталей ЦПГ КС дизеля в период выгорания сажи (первая фаза).

Именно этому вопросу будет посвящена следующая работа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 592 с., ил.

2. Синицын В.А. Аналитические методы исследования теплообмена в ДВС: Учебное пособие / Алт. гос. техн. ун-т. – Барнаул : Б., 1993. – 69 с.

3. Белинский Л.М. Теплоизлучение в камере сгорания быстроходного двигателя с воспламенением от сжатия. Исследование рабочего процесса и подачи топлива в быстроходных двигателях // Тр. НИИД. Л.; М.: Машгиз. 1955. с. 83-114.

4. Батурин С.А., Ложкин В.Н. Исследование динамики сажевыделения и температуры пламени на неустановившихся режимах работы дизеля ЯМЗ-238 НБ // Исследование и совершенствование быстроходных дизелей. Барнаул, 1978. с. 46-53.

5. Костин А.К., Ларионов В.В., Михайлов Л.И. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания. – Л.: Машиностроение, 1979. – 222 с.

6. Зуев А.А. Экспериментальное определение локальной степени черноты деталей ЦПГ дизелей: Межвуз. Сб. научн. Тр. – Барнаул, 1991. – с. 94-101.

7. Churchill R. A., Smith J.E., Clark N.N., Turton R.A. Low-Heat Rejections Engines-a concept review // SAE Techn. Pap. Ser.- 1989.- № 890153.- P. 25-36.

8. Страдамский М.В. Оптимизация температурного состояния деталей дизельных двигателей / М.В. Страдамский. – Киев, 1987.

Зуев А.А., к.т.н.,
доцент кафедры ДВС,
e-mail: D21200403@mail.ru
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, Барнаул/