

УДК 621.436

**ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ИЗЛУЧЕНИЕМ В ЦИЛИНДРЕ
ДИЗЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ НА ГАЗОМОТОРНОМ ТОПЛИВЕ****Лиханов В.А., Россохин А.В.***ФГБОУ ВПО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия»
Минсельхоза России, Киров, e-mail: lihanov.fsp@mail.ru*

Рассмотрены вопросы и особенности теплообмена в цилиндре быстроходного дизеля размерности 4ЧН 11,0/12,5 при работе на дизельном и газомоторном топливе (газодизельный процесс). Рассчитаны спектральные и интегральные радиационные характеристики частиц сажи в цилиндре газодизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла поворота коленчатого вала.

Ключевые слова: дизель, газодизель, теплообмен излучением, сажевые частицы**PECULIAR PROPERTIES OF RADIATIVE HEAT TRANSFER
IN THE DIESEL CYLINDER OPERATING ON GAS-ENGINE FUEL****Likhanov V.A., Rossokhin A.V.***Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, e-mail: lihanov.fsp@mail.ru*

The article considers the issues and peculiarities of heat transfer in a cylinder of high speed diesel 4 ЧН 11,0/12,5 operating on diesel and gas-engine fuel (gas-diesel operation). Spectral and integrated radiation characteristics of soot particles in the gas diesel cylinder 4 ЧН 11,0/12,5 have been calculated depending on the crankshaft angle.

Keywords: diesel, gas diesel, radiative heat transfer, soot particles

Дизели являются безальтернативными энергетическими установками в автомобильном, тракторном и сельскохозяйственном машиностроении, а их характеристики, в конечном счете, определяют эксплуатационные, энергетические, экономические, экологические и массогабаритные показатели эксплуатируемой техники.

В современных поршневых дизелях, рабочий процесс характеризуется интенсивным протеканием тепловых и газодинамических процессов. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы эти процессы обеспечивали улучшение эффективных показателей дизелей. Точное аналитическое описание совокупности физико-химических процессов, связанных с теплообменом и протекающих в дизелях, не создано вследствие сложности этих явлений и многочисленности факторов, влияющих на них. Более того, увеличивающееся в последнее время количество разработок по применению в дизелях альтернативных топлив (компримированный природный газ, спиртовые топлива, топлива на основе растительных масел и др.) процессы теплообмена вообще серьезно не рассматривают. Поэтому работы, направленные на изучение и совершенствование рабочих процессов в дизелях, в том числе при работе на альтернативных топливах, являются востребованными и далеко не изученными.

Вопросы теплообмена, который применительно к поршневым ДВС носит ярко выраженный локальный характер имеют важнейшее прикладное значение.

Протекающий в камерах сгорания (КС) дизелей процесс теплообмена является радиационно-конвективным или сложным. Поэтому при изучении такого теплообмена необходимо решать уравнения переноса лучистой энергии совместно с уравнениями, описывающими газодинамику и гидродинамику происходящих процессов и конвективного теплообмена.

При рассмотрении радиационного теплообмена в цилиндре дизеля исходят из того, что рабочее тело в цилиндре представляет собой среду, излучающую, поглощающую и рассеивающую тепловую энергию. Более того, рабочее тело является дисперсной средой, поскольку содержит в своем объеме сажевые частицы, которые являются основными генераторами теплового излучения. Как и температура, локальная концентрация сажевых частиц в объеме цилиндра неоднородна. Она зависит от режима работы, угла поворота коленчатого вала и массообмена, т.е. направления и интенсивности конвективных потоков в цилиндре. Соответственно и коэффициент ослабления луча, являющийся одним из важнейших оптических показателей среды, будет меняться, так как его значение зависит от концентрации взвешенных частиц.

Кроме этого, в течение рабочего цикла в цилиндре присутствует многокомпонентная среда, состоящая из газов (воздуха и газообразных продуктов сгорания), паров топлива, капель жидкого топлива и твердых сажевых частиц. Все это необходимо учитывать

вать при определении суммарных тепловых потоков, воспринимаемых стенками КС.

Излучение среды, находящейся в цилиндре дизеля, является сплошным и подобным излучению серого тела, но неравномерным. А присутствие в объеме сажевых частиц многократно повышает интенсивность теплового излучения

На тепловое излучение в цилиндре дизеля влияет, как уже было отмечено, множество факторов. В работе [4] они разбиты на четыре основные группы. Применительно к дизелям они имеют свои особенности.

Во-первых, это геометрические параметры излучающего объема. Поскольку у различных типов дизелей форма и размеры камеры сгорания неодинаковы, отличается и число распыливающих отверстий распылителей форсунок, форма и направление воздушных потоков в КС, тип смесеобразования, то и тепловой поток будет различным.

Во-вторых, радиационные характеристики конденсированной фазы. К ним относятся оптические константы (показатели преломления и поглощения), размеры и распределение по размерам частиц (в первую очередь сажевых), химический состав конденсированной фазы и др.

В-третьих, радиационные характеристики газовой фазы. К ним относятся химическая и тепловая неравновесности в КС, длина волны и спектральный интервал излучения основных компонентов фазы, температура и ее распределение в КС, давление газов, химический состав среды, оптические свойства газовой фазы и еще ряд параметров.

В-четвертых, физические характеристики поверхностей, ограничивающих излучающий объем. Это и температура ограничивающих поверхностей, и отражательные

и излучающие способности поверхностей, и граничные условия. Применительно к поршневым ДВС, в первую очередь, рассматриваются поршень и головка цилиндра. В меньшей степени – стенки цилиндра.

Для расчета радиационного теплового потока в КС дизеля необходимо знать температуру излучателя, степень черноты излучающей и поглощающей среды и степень черноты поверхностей КС.

Что касается температуры частиц сажи, то большая часть исследователей сходится во мнении, что температуру частиц и температуру окружающего их газа можно принять одинаковыми. Хотя есть и иное мнение. Так, в одних работах показано, что разница температур частиц сажи и газа не превышает 1 К при размерах частицы до $0,3 \cdot 10^{-6}$ м. В другой работе для частиц размером около $8 \cdot 10^{-8}$ м экспериментально показана одинаковость температур частиц сажи и газа с погрешностью ± 60 К [1].

Степень черноты ε относится к важнейшим радиационным характеристикам. Она зависит от природы тела, температуры и шероховатости поверхности. Степень черноты рабочего тела в цилиндре дизеля в течение цикла зависит от нагрузки. В ранее опубликованных работах по этой тематике дизельное пламя рассматривается как серое тело, т.е. излучающее во все диапазоне длин волн λ . При этом основная доля излучаемой тепловой энергии приходится на некоторый диапазон. В разных источниках этот диапазон свой, но в среднем он составляет [0, 5, 10] мкм.

В работе [1] приведена эмпирическая формула для определения степени черноты рабочего тела в зависимости от угла поворота φ коленчатого вала и среднего эффективного давления p_e газов в цилиндре:

$$\varepsilon = 2^{-0,21 p_e} (0,6866 - 0,3274 p_e) \varphi^{0,1537 + 0,265 p_e} \cdot \exp [(-0,014388 + 0,006162 p_e) \varphi],$$

где φ – угол поворота коленчатого вала, п.к.в.; p_e – среднее эффективное давление газов в цилиндре, МПа.

Однако это выражение применимо только для дизелей, работающих на традиционном дизельном топливе. Насколько оно применимо к топливам с иной химической структурой необходимо проверять дополнительно.

Интересные результаты экспериментального определения локальных температур рабочего тела в цилиндре дизеля 1ЧН 18/20 методом цветовой температуры приведены в работе [2]. Исследование проводилось при значениях $p_e = 0,5 \dots 0,6$ МПа и $n = 1500$ мин⁻¹, фото- и киносъемка про-

водилась с частотой 4000...5000 кадров в секунду. Экспериментально установлено, что рабочее тело в цилиндре имеет очень неоднородное температурное поле с большим диапазоном температурных градиентов (от 30...70 К/мм внутри одной зоны, до 300...500 К/мм на границах сгоревших и несгоревших зон). Кроме того, оказалось, что при работе на дизельном топливе температуру больше 1700 К имеет приблизительно 28% массы рабочего тела в цилиндре, больше 2000 К – 27%, больше 2200 К – 22%, больше 2400 К – всего около 2% и больше 2600 К – порядка 0,2%. Остальная часть рабочего тела (около 20%) имеет температуру менее 1700 К.

Тем более интересны вопросы, связанные с исследованием локальных и пограничных зон и протекающих в них процессах при работе дизеля с использованием топлив другого химического состава и, что более важно, другого химического строения. Компримированный природный газ обладает целым рядом отличий по своим моторным свойствам от нефтяного дизельного топлива, а применение газодизельного процесса приводит к образованию локальных зон, непосредственно влияющих на процессы сажеобразования и окисления сажевых частиц. Это, в свою очередь, влияет на интенсивность лучистого теплообмена.

Подача запальной порции дизельного топлива приводит к образованию в ядре факелов зон с недостатком окислителя и, соответственно, процессы сажеобразования в этих зонах будут преобладать. В то же время, при дальнейшем развитии факелов в процессы горения будут вовлекаться новые порции метано-воздушной смеси, в которых будет происходить окисление образующихся сажевых частиц. А, как известно, горение сажевых частиц сопровождается выделением большого количества лучистой энергии.

Нами проведены исследования работы дизеля на компримированном природном газе, подаваемом в цилиндры дизеля вместе с воздушным зарядом с воспламенением от запальной порции дизельного топлива, по-

даваемого через штатную систему питания (так называемый газодизельный процесс) и рассмотрены оптические свойства и радиационные характеристики пламени в цилиндре дизеля.

Особенность подобных исследований заключается в наличии большого количества компонентов в продуктах сгорания другом отношении «углерод-водород» в молекуле топлива, их гетерогенности, то есть наличии газовой и твердой фазы, что, безусловно, сказывается на излучательной и поглощательной способности среды, степени черноты пламени и других характеристиках излучения.

В расчетах нами использовались комплексные программы моделирования оптических свойств, радиационных характеристик и теплового излучения ГПС «СПЕКТР» и CARBON, разработаны на кафедре физики ВятГУ.

Комплексная программа СПЕКТР, разработанная на языке FORTRAN, предназначена для расчета радиационных характеристик (РХ) и характеристик излучения (ХИ) гетерогенных продуктов сгорания (ГПС) ДВС. Она позволяет производить расчеты для реальных компонентов газовой и конденсированной фазы ГПС с любым распределением частиц конденсата в широком интервале термо- и газодинамических параметров. Программа CARBON рассчитывает РХ продуктов сгорания ДВС.

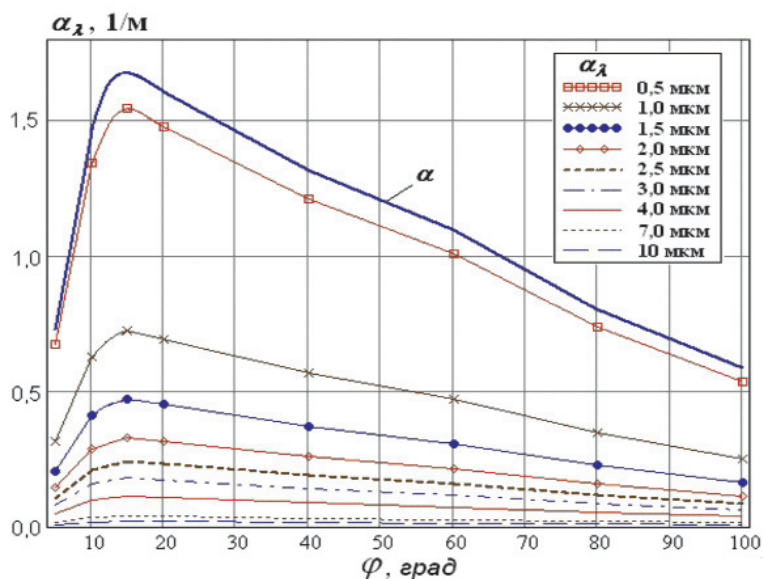


Рис. 1. Спектральные и интегральные радиационные характеристики частиц сажи в цилиндре газодизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла п.к.в.

Исходными данными для расчетов являются: размеры и геометрия излучающего объема, радиационные характеристики поверх-

ностей, температуры газа и частиц, давление, массовая доля конденсата, молярная масса, плотность частиц, функция распределения

частиц по размерам, оптические свойства, концентрация основных компонентов газовой фазы. Результатами расчета являются РХ индивидуальных частиц и единичного объ-

ема, коэффициенты разложения индикатрисы в ряд по полиномам Лежандра, спектральные и интегральные плотности потоков, спектральные и интегральные степени черноты.

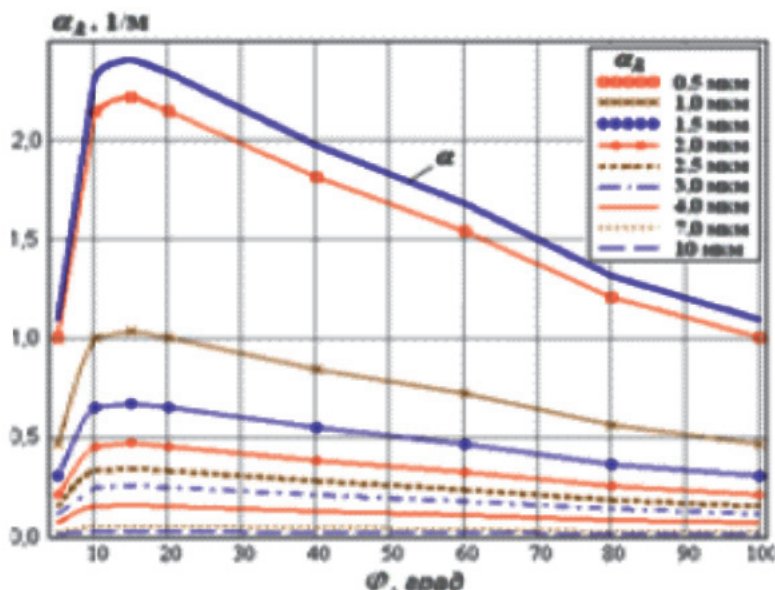


Рис. 2. Спектральные и интегральные радиационные характеристики частиц сажи в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла п.к.в.

Согласно данным этой же работы, температура в ядре факела, составляет 900...1000 К, при том, что температура газа в объеме КС составляет от 1200 до 1800 К в зависимости от угла поворота коленчатого вала.

Для КС дизелей при расчете лучистого теплообмена приходится учитывать ряд специфических особенностей, связанных как с нестационарностью процесса, так и с геометрией КС и факела в ней. В зависимости от степени завихрения потока воздуха в камере и формы факела топлива формируется поле концентрации сажевых частиц. Наличие конечной продолжительности впрыскивания топлива, полидисперсный состав капель топлива в факеле, неопределенность координат очагов самовоспламенения, турбулизация внутрицилиндрового объема в результате движения поршня и процесса горения, постоянно изменяющийся его объем, постоянно изменяющаяся

концентрация сажевых частиц и их дисперсионный состав практически исключают возможность непосредственного расчета мгновенных местных концентраций и дисперсионного состава сажевых частиц, что необходимо для расчета лучистого теплообмена.

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.
2. Дьяченко Н.Х. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей. – М.: Машиностроение, 1969. – 248 с.
3. Кузьмин В.А. Тепловое излучение в двигателях и энергетических установках. – Киров: Полекс, 2004. – 231 с.
4. Лиханов В.А., Мохнаткин В.Г., Россохин А.В. Исследование процессов образования и выгорания сажи в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе. – Киров: Вятская ГСХА, 2006. – 124 с.
5. Лиханов В.А., Лопарев А.А., Мохнаткин В.Г., Россохин А.В. Исследование рабочих процессов в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе. – Киров: Вятская ГСХА, 2007. – 288 с.