

### References

1. Vasiliev O.A. State and prospects of development of modern agricultural production in the region / O.A. Vasiliev, O.Yu. Dmitrieva, V.G. Egorov, A.O. Vasiliev, A.N. Ilyin // *Economy: yesterday, today, tomorrow*. – 2016. – № 7. – Pp. 81-97.
2. Chuvashia will continue to create a favorable environment for the development of hop-growing [Electronic resource] / Agromashholding. – URL: <http://agromh.com/v-chuvashii-prodolzhat-sozdavat-blagopriyatnyuyu-sredu-dlya-razvitiya-hmelevodstva/>
3. Dmitrieva O.Yu. Preconditions for the formation of a wholesale distribution center for the marketing of potatoes and vegetables in the region / O.Yu. Dmitrieva // *Izvestiya of the Samara State Agricultural Academy*. – 2014. – №2. – Pp.35-39.
4. Dmitrieva O.Yu. Features of lending to small forms of farming in the countryside / O.Yu. Dmitrieva // *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*. – 2014. – Т. 9. – №.2 (32). – Pp. 11-15.
5. Dmitriev Yu.P. Progressive technology of hop processing is the basis for its effective use / Yu.P. Dmitriev, O.Yu. Dmitrieva, S.Yu. Dmitriev, V.I. Yuryev // *Scientific and educational environment as a basis for the development of the agro-industrial complex and the social infrastructure of the village: materials of the international scientific and practical conference*. – Cheboksary, 2016. – Pp. 392-395.
6. Medvedev V.I. Optimization of the parameters of agricultural machines / V.I. Medvedev, Yu.F. Kazakov and others // *Interuniversity collection of scientific papers / Saransk*, 1986.
7. Hop-harvesting stationary machine (MX-300) [Electronic resource] / Agrobusinessconsulting. - URL: [https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery\\_633062859884062500](https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_633062859884062500)
8. Yuryev V.I. A complex of machines for hops cultivation in the summer-autumn period / V.I. Yuryev, Yu.P. Dmitriev, S.Yu. Dmitriev // *Agricultural machines and technologies*. – 2013. – №6. – Pp. 38-41.

### Information about authors

1. **Dmitriev Yuri Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Mathematics, Physics and Information Technology, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, 29, K. Marx Str.; e-mail.ru: yura.dmitriev.51@mail.ru, tel. (8352)62-23-34;
2. **Yuryev Vitaliy Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Chuvash Research Institute of Agriculture, Senior Researcher, 429911, Chuvash Republic, Settlement of Opytniy, Centralnaya, 2; e-mail.ru: optniish@cbx.ru, tel. (83545)61-1-10;
3. **Dmitriev Sergey Yurievich**, Candidate of Technical Sciences, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Doctoral Student, 109428, Russian Federation, Moscow, 1 Institutsky avenue, 5; e-mail.ru: su.dmitriev2011@yandex.ru, tel. (499) 171-19-3;
4. **Pushkarenko Nikolay Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Service, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx St., 29.

УДК 621.436

## ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА

**В.А. Лиханов, А.В. Россохин**

*Вятская государственная сельскохозяйственная академия  
610017, Киров, Российская Федерация*

**Аннотация.** 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.

**Введение.** 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 [1-3].

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 при определении суммарных тепловых потоков, воспринимаемых стенками КС.

**Материалы и методы.** 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.

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  $\pm 60$  К [1].

Степень черноты  $\epsilon$  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 всем диапазоне длин волн  $\lambda$ . 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.

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  $p_c = 0,5 \dots 0,6$  МПа и  $n = 1500$  мин<sup>-1</sup>, фото- и киносъемка проводилась 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 [3].

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 преобладающими. 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.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Нами проведены исследования работы дизеля на компримированном природном газе, подаваемом в цилиндры дизеля вместе с воздушным зарядом с воспламенением от запальной порции дизельного топлива, подаваемого 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 в 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 [3-4].

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

Комплексная программа SPEKTR, 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.

Исходными данными для расчетов являются: размеры и геометрия излучающего объема, радиационные характеристики поверхностей, 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 объема, коэффициенты разложения индикатрисы в ряд по полиномам Лежандра, спектральные и интегральные плотности потоков, спектральные и интегральные степени черноты.

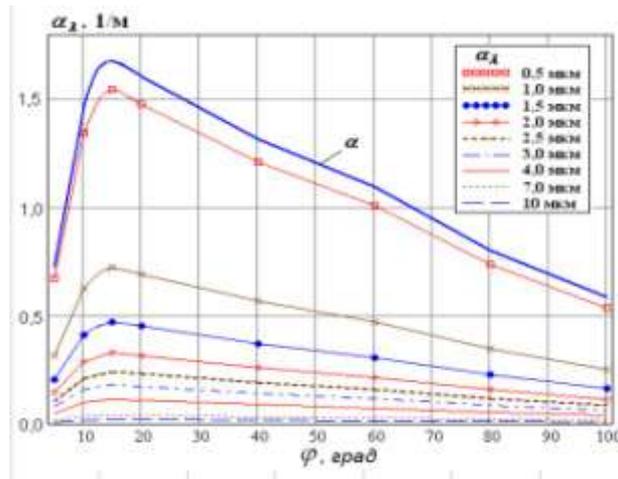


Рис. 1. Спектральные и интегральные радиационные характеристики частиц сажи в цилиндре газодизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла п.к.в.

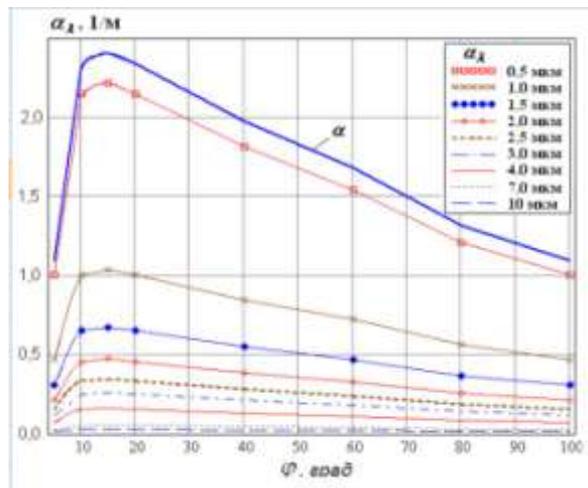


Рис. 2. Спектральные и интегральные радиационные характеристики частиц сажи в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла п.к.в.

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 [8-12].

#### Выводы

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.

#### Литература

1. Батури С.А. Физические основы и математическое моделирование процессов сажевыделения и теплового излучения в дизелях. дис. ... д-ра техн. наук. Ленинград, 1982, 443 с.
2. Ямпольский Ю. П. Элементарные реакции и механизм пиролиза углеводородов. Москва, Химия, 1990, 216 с.
3. Решетников С.М., Решетников И.С. Анатомия горения. Москва, НГСС, 2014, 247 с. ISBN: 987-5-9903747-6-8.
4. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. Харьков, Высшая школа, 1980, 169 с.

#### Сведения об авторах

1. **Лиханов Виталий Анатольевич**, доктор технических наук, академик РАТ, профессор, заведующий кафедрой тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная

академия, 610017, Кировская область, г. Киров, Октябрьский проспект, 133, e-mail: lihanov.va@mail.ru, тел. 8(8332)57-43-07;

2. **Россохин Алексей Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Кировская область, г. Киров, Октябрьский проспект, 133, e-mail: rossokhin.dvs@mail.ru, тел. 8-912-727-08-74.

## PECULIAR PROPERTIES OF RADIATIVE HEAT TRANSFER IN THE DIESEL CYLINDER OPERATING ON GAS-ENGINE FUEL

**V.A. Likhanov, A.V. Rossokhin**  
Vyatka State Agricultural Academy  
610017, Kirov, Russian Federation

**Abstract.** *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.*

**Key words:** *diesel; gas-diesel; radiative heat transfer; soot particles.*

### References

1. Baturin S.A. Physical grounds and mathematical modeling of soot emission processes and heat radiation in diesel engines. Abstract of thesis ... Doctor of tech. sciences / Leningrad. 1982. - 443 p.
2. Yampolsky. Yu. P. Elementary reactions and mechanism of hydrocarbon pyrolyse. Moscow Khimiya Publ., 1990. -216 p.
3. Reshetnikov S.M., Reshetnikov I.S. Anatomy of burning./ S.M. Reshetnikov, I.S.Reshetnikov// Moscow, NGSS Publ., 2014. -247 p.
4. Razleytsev N.F. Modeling and optimization of burning process in diesel engines. Kharkov, Vysshaya Shkola Publ., 1980. -169 p.

### Information about authors

1. **Likhanov Vitaly Anatolyevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, 610017, Kirov region, Kirov, Oktyabrsky prospect, 133, tel. 8(8332)57-43-07;

2. **Rossokhin Aleksey Valeryevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, 610017, Kirovskaya Region, Kirov, Oktyabrsky Prospect, 133, tel. 8-912-727-08-74.

УДК 631.17:620.93

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ТЕХНОГЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

**Ф.Ф. Мухамадьяров<sup>1)</sup>, А.Р. Валиев<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Вятская государственная сельскохозяйственная академия  
610017, Киров, Российская Федерация

<sup>2)</sup>Казанский государственный аграрный университет,  
420015, г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** *Системный подход к проблеме энергосбережения в растениеводстве позволил провести структуризацию факторов взаимодействия «растение-среда-машина» и выявить пути, обеспечивающие повышение эффективности отрасли. Установлено, что одним из наиболее важных факторов, обеспечивающих оптимизацию условий окружающей среды, является обработка почвы. На ее долю приходится свыше 40% прямого расхода топлива. Разработаны почвообрабатывающие машины с ротационными рабочими органами для системы разноглубинной обработки почвы: противоэрозионное орудие для глубокой послойной обработки почвы КПО-2,5; дисковый культиватор для мелкой обработки почвы КД-2,7; коническое ротационное орудие для поверхностной обработки почвы КРО-2,5 и вибрационная борона для предпосевной обработки почвы ВБ-2,1. Их применение основано тем, что они имеют меньшее удельное сопротивление за счет скользящего резания и, соответственно, меньший расход топлива по сравнению с лемешными. В результате расчёта энергетической эффективности использования базовых и новых вариантов было выявлено, что полные удельные энергозатраты машинно-тракторных агрегатов с использованием разработанных новых почвообрабатывающих орудий при выполнении соответствующих технологических операций меньше, чем у агрегатов с серийными машинами за исключением агрегата для предпосевной обработки почвы с виборороной. Разработанные машины рекомендуются использовать при*