

2. **Абросимова Мария Владимировна**, аспирант кафедры эксплуатации мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин, Нижегородской ГСХА, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97, e-mail: abrosimova-mari@mail.ru, тел. 89047878723.

RESEARCH OF REACTOR PANTONE ON INTERNAL COMBUSTION ENGINE

M.V. Abrosimova, L.A. Zholobov

*Nizhny Novgorod State Agricultural Academy
603107, Nizhny Novgorod, Russian Federation*

Abstract. *In recent years there has been a trend in the use of alternative fuels for ICE (internal combustion engines). Exhaust gases of internal combustion engines*

(ICE) consist mainly of harmless fuel combustion products – carbon dioxide and water vapors. However, relatively few of them contain substances that have toxic and carcinogenic effects. These are carbon monoxide, hydrocarbons of various chemical composition, nitrogen oxides, formed mainly at high temperatures and pressure.

The combustion of hydrocarbon fuel produces toxic substances associated with the combustion conditions, composition and state of the mixture. In engines with forced ignition, the concentration of carbon monoxide reaches high values due to the lack of oxygen for complete oxidation of the fuel when they work on a fuel-rich mixture.

One of the areas is development of technologies to increase fuel efficiency and to transfer the engine to power heavy fossil fuels.

This article analyzes the use of Pantone reactor to test the technology of exhaust gas recirculation and transmission of their energy for alternative fuel, which allows to increase the efficiency of the ICE and reduce the toxicity of exhaust gases.

Keywords. *The reactor Pantone, the Bong, the exhaust gases.*

Literature

1. GEET: Global Environmental Energies Technology: Paul Pantone: US Patent № 5,794,601 ~ Fuel Pretreater // US Cl. 123/538 ~ August 18, 1998 Fuel Pretreater Apparatus and Method

Information about the authors

1. **Zholobov Leo Alexeyevich**, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of "Operation of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery" of the "Nizhny Novgorod State Agricultural Academy"(603107,Nizhny Novgorod, PR. Gagarina, 97, e-mail: jolobovlev@yandex.ru tel:+7-951-910-11-51;

2. **Abrosimova Maria Vladimirovna**, Postgraduate of the Chair "Operation of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery" of the "Nizhny Novgorod State Agricultural Academy"(603107,Nizhny Novgorod, PR. Gagarina, 97, e-mail: abrosimova-mari@mail.ru tel: +7-904-787-87-23.

УДК 621.436

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭТАНОЛА И РАПСОВОГО МАСЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ И САЖЕСОДЕРЖАНИЯ В ЦИЛИНДРЕ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ 2Ч 10,5/12,0 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ

В.А. Лиханов, А.Н. Козлов, М.И. Арасланов

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

Аннотация. *Сегодня двигатель внутреннего сгорания является одним из основных источников вредных выбросов в окружающую среду. Дымность отработавших газов неблагоприятно сказывается на окружающей среде и на работе двигателя. Наличие большого количества сажи в отработавших газах дизеля свидетельствует о нерациональном расходовании топлива, проблемах со смесеобразованием или его работе на богатых смесях с низким коэффициентом избытка воздуха, что приводит к неполному сгоранию. Сажа представляет несгоревший в камере сгорания дисперсный углерод. На своей поверхности она способна абсорбировать опасные вещества и продукты неполного сгорания. Среди них есть и канцерогены.*

Одним из самых эффективных методов снижения дымности отработавших газов дизелей является использование альтернативных оксигенатных видов топлива, среди которых можно выделить спирты и растительные масла. Растительные масла хорошо воспламеняются и могут быть использованы как запальное топливо для спирта в дизельных двигателях. Максимальная подача спирта в камеру сгорания позволяет интенсивно снижать дымность отработавших газов. В статье представлены результаты исследования работы дизеля на этаноле и запальном рапсовом масле при различных нагрузочных режимах.

Основное внимание в исследовании уделяется анализу показателей процесса сгорания топливной смеси, содержания сажи в цилиндре и отработавших газов. Представлен анализ изменения показателей сажесодержания с учетом внутрицилиндровых процессов. В результате исследований установлено снижение дымности отработавших газов и концентрации сажи в цилиндре дизеля в зависимости от нагрузки и величины цикловой подачи этанола и рапсового масла.

Ключевые слова: дизель, сажа, отработавшие газы, рапсовое масло, этанол.

Введение. Сажа является одним из наиболее вредных продуктов сгорания топлива в дизеле. Исследованиями установлено, что начало выделения сажи в цилиндре дизеля совпадает с началом активного тепловыделения. Для свежей порции топлива процесс образования сажи начинается через 1,5-2,0 мс после момента поступления топлива в камеру сгорания (КС), что свидетельствует о наличии периода задержки процесса сажеобразования, связанного с необходимостью протекания процессов пиролиза топлива и образования зародышей частиц. Экспериментально установленное время образования и роста углеродных частиц при температуре 1300-1500⁰С – 10⁻⁴ с, что приблизительно соответствует времени поворота коленчатого вала дизеля на один градус при частоте вращения 1600 – 1700 мин⁻¹. В момент открытия выпускного клапана осредненная температура газов в цилиндре дизеля падает до 800-900 К в зависимости от режима работы дизеля, что существенно ниже температурного порога образования сажи [5].

Условно КС дизеля в каждый момент времени можно разделить на несколько зон в зависимости от интенсивности образования или выгорания в них сажи. При подаче топлива в КС дизеля образуется крайне неоднородный состав топливовоздушной смеси, а диффузионное сгорание неоднородной смеси создает условия для обильного сажевыделения [3]. Частицы сажи образуются в области между богатой топливом стороной реакционной зоны диффузионного пламени и струей горючего. Преимущественной областью образования сажи является центральная часть факела в зонах, тем, где полностью потреблен кислород и имеется достаточное значение температуры и концентрации углеводородов (рисунок 1). В центральной части факела капли топлива, продолжающие поступать из форсунки, встречают на своем пути продукты сгорания с высокой температурой. В этой фазе замедленного диффузионного горения топлива происходит интенсивное сажеобразование.

Таким образом, структуру топливного факела можно представить как последовательное чередование отдельных зон: 1 – зона испарения топлива и смешивания его с вовлекаемым воздушным зарядом, 2 – зона начального пиролиза исходного топлива, 3 – зона глубокого пиролиза продуктов второй зоны, 4 – зона горения, 5 – зона продуктов сгорания.

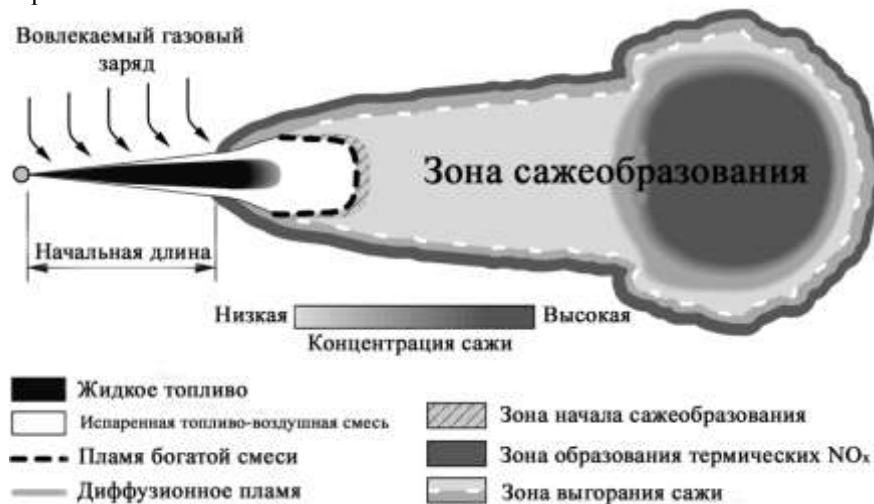


Рис. 1. Структура топливного факела по зонам образования сажи [6].

Во второй зоне смесь подогревается за счет теплопроводности и встречной диффузии горящих продуктов реакции из 3 и 4 зон. В этих зонах начинается процесс сажеобразования преимущественно по низкотемпературному фенильному механизму [2], [4]. При достижении более высоких температур, более 1500 К, в начале зоны 3 концентрация сажи резко возрастает. Ее образование происходит преимущественно по ацетиленовому механизму.

Обильное сажевыделение происходит в зонах с коэффициентом избытка воздуха α , находящемся в диапазоне от 0,33 до 0,7. Максимальный коэффициент избытка воздуха, при котором происходит образование дисперсного углерода при горении дизельного топлива в цилиндре дизеля, составляет $\alpha = 1,3$ и называется пределом дымления. Предельные значения коэффициента избытка воздуха, при которых регистрируется сажеобразование в цилиндре дизеля, могут изменяться в зависимости от температуры и давления в КС.

Учитывая связь сажевыделения с другими процессами в КС дизеля и условия образования и выгорания частиц сажи в пламени углеводородного топлива, следует выделить и рассмотреть факторы, влияющие на

эмиссию сажи с отработавшими газами (ОГ) дизеля. Влияние на дымность ОГ оказывает время и особенности протекания процесса сгорания, атомизация и конфигурация струи, способ подачи и коэффициент избытка воздуха, степень турбулентности, давление, температура газов, вид и состав топлива и другие факторы [7].

Сильное влияние на процесс формирования сажи оказывает температура пламени в КС, действие которой противоречиво в зависимости от гомогенности смеси [1]. С одной стороны, с ростом температуры повышается скорость выгорания сажи, концентрация радикалов ОН в зоне пламени, ускоряющих процессы окисления. С другой стороны, увеличивается концентрация радикалов – предшественников сажи, образование которых не происходит при низких температурах. В условиях КС процесс сажеобразования ограничен интервалом температур от 1000 до 2200 К. Ускоренное образование сажи отмечается при температурах в КС выше 2050 К, а её максимальная концентрация – при температуре около 2200 К.

Существует несколько путей снижения содержания сажи в ОГ дизеля. Одним из самых эффективных способов, позволяющих к тому же решать насущные энергетические проблемы, является применение альтернативных оксигенатных видов топлива. Самыми доступными из них являются спирты и растительные масла.

Материалы и методы исследования. В Вятской ГСХА были проведены экспериментальные исследования работы дизеля 2Ч 10,5/12,0 с воздушным охлаждением с полусферической камерой сгорания в поршне на этаноле и рапсовом масле (РМ). РМ использовалось как запальное топливо, поскольку физические свойства спирта не позволяют инициировать воспламенение рабочего тела от сжатия в условиях серийного дизеля. Цикловая подача запального топлива устанавливалась постоянной при условии устойчивой работы в режиме холостого хода. Рост нагрузки осуществлялся увеличением цикловой подачи спирта. Такой способ был реализован за счет установки дополнительного топливного насоса высокого давления, комплекта топливопроводов и штифтовых форсунок.

Результаты экспериментальных исследований работы дизеля на альтернативных видах топлива сопоставлялись с результатами стендовых испытаний при работе дизеля на традиционном топливе. При этом проводилось индицирование работы дизеля, измерялись расходы топлива, воздуха, токсичность и дымность ОГ.

Результаты исследований и их обсуждение. Во время работы двигателя при номинальной частоте вращения коленчатого вала ($n=1800 \text{ мин}^{-1}$) на этаноле и РМ максимальное значение осредненной температуры газов T_{max} в цилиндре при максимальных нагрузках выше, чем при работе на ДТ (рисунок 2). Равенство температур достигается при $p_e = 0,4 \text{ МПа}$. При работе двигателя на этаноле и РМ происходит более интенсивный рост максимального давления в цилиндре с увеличением нагрузки. Максимальное давление при $p_e = 0,115 \text{ МПа} - p_z = 3,91 \text{ МПа}$, при $p_e = 0,692 \text{ МПа} - p_z = 8,1 \text{ МПа}$. При нагрузках при $p_e < 0,600 \text{ МПа}$ максимальное давление p_z в цилиндре при работе дизеля на альтернативных видах топлива ниже, чем при работе на ДТ.

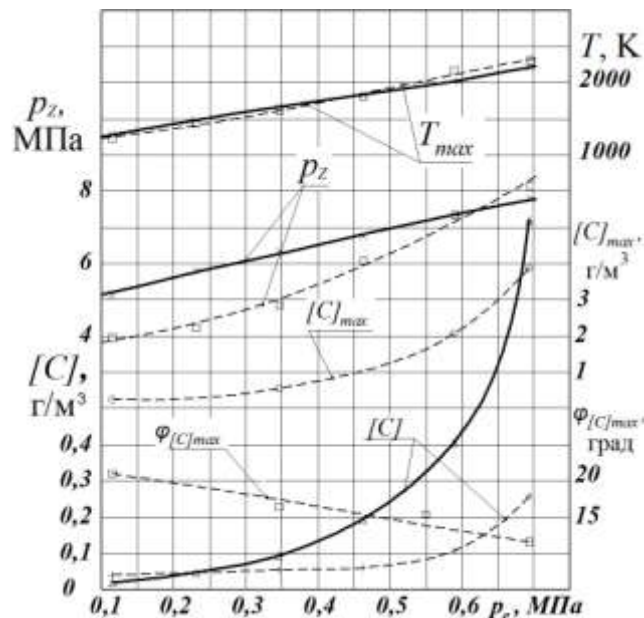


Рис. 2. Влияние применения этанола и РМ на показатели процесса сгорания и показатели сажеобразования при $\theta_{PM} = 34^\circ$ и $\theta_\omega = 34^\circ$ в зависимости от изменения нагрузки при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ — ДТ; — — — этанол и РМ

С увеличением нагрузки происходит существенный рост концентрации и массового содержания сажи в ОГ дизеля. При работе на ДТ при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,115 \text{ МПа}$ экспериментальная концентрация сажи в ОГ составляет $0,028 \text{ г/м}^3$, с увеличением нагрузки до $p_e = 0,692 \text{ МПа}$ значение концентрации возрастает в 36 раз и

равняется $1,021 \text{ г/м}^3$. При использовании альтернативных видов топлива значение концентрации сажи в ОГ с увеличением нагрузки растет менее интенсивно. Экспериментально установленная концентрация сажи в ОГ при $p_e = 0,115 \text{ МПа}$ – $[C] = 0,037 \text{ г/м}^3$. При $p_e = 0,692 \text{ МПа}$ – $[C] = 0,251 \text{ г/м}^3$, то есть концентрация сажи в ОГ с ростом нагрузки увеличилась в 6,8 раза. При максимальной нагрузке снижается концентрация сажи в ОГ при работе на этаноле и РМ в 4,06 раза по сравнению с работой на ДТ.

Рост максимального давления сгорания и максимальной осредненной температуры газов в цилиндре связан с увеличением нагрузки при цикловой подаче этанола, почти полностью сгорающего в период гомогенного горения топливозвоздушной смеси. Перераспределение массы топлива между периодами горения как при работе на альтернативных видах топлива, так и в процессе сажеобразования в цилиндре происходит в зависимости от угла поворота коленчатого вала (п.к.в.).

Кроме того, с ростом нагрузки увеличивается цикловая подача топлива, как уже было сказано выше, и уменьшается коэффициент избытка воздуха. Вместе с этим возрастает количество зон в камере сгорания при переизбытке углеводородов и недостатке кислорода. Это вызывает рост концентрации химических зародышей сажи в предпламенных зонах.

Расчетная максимальная массовая концентрация сажи в цилиндре при работе на частоте $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ растет с $0,218 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,115 \text{ МПа}$ до $3,93 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,692 \text{ МПа}$. При этом пик массовой концентрации сажи смещается к ВМТ на 10 градусов п.к.в. Это связано с изменением скорости сажевыделения в цилиндре в зависимости от угла п.к.в. (рисунок 3).

При работе дизеля на этаноле и РМ на малых нагрузках процесс сгорания смещается на линию расширения, снижается температура газов в цилиндре, пик её сдвигается за пределы 30 градусов п.к.в. Снижение температуры продуктов сгорания уменьшает скорость выгорания сажи в цилиндре. Смещение процесса сгорания вызывает задержку начала процесса сажевыделения в цилиндре при малых p_e .

Снижение цикловой подачи этанола сокращает объем зон богатой ТВС, повышается коэффициент избытка воздуха, что влияет на интенсивность газификации сажи в цилиндре. С увеличением цикловой подачи этанола увеличивается температура газов в камере сгорания, растет интенсивность сажевыделения.

По результатам численного моделирования расчетная концентрация сажи в ОГ составляет $[C] = 0,031 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,115 \text{ МПа}$, и $[C] = 0,221 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,692 \text{ МПа}$ при номинальной частоте вращения коленчатого вала дизеля. При номинальном режиме работы расчетная концентрация сажи в ОГ составляет $0,114 \text{ г/м}^3$. По результатам измерений было выявлено, что концентрация сажи в ОГ меньше расчетной на 6,5 % и равна $[C] 0,107 \text{ г/м}^3$.

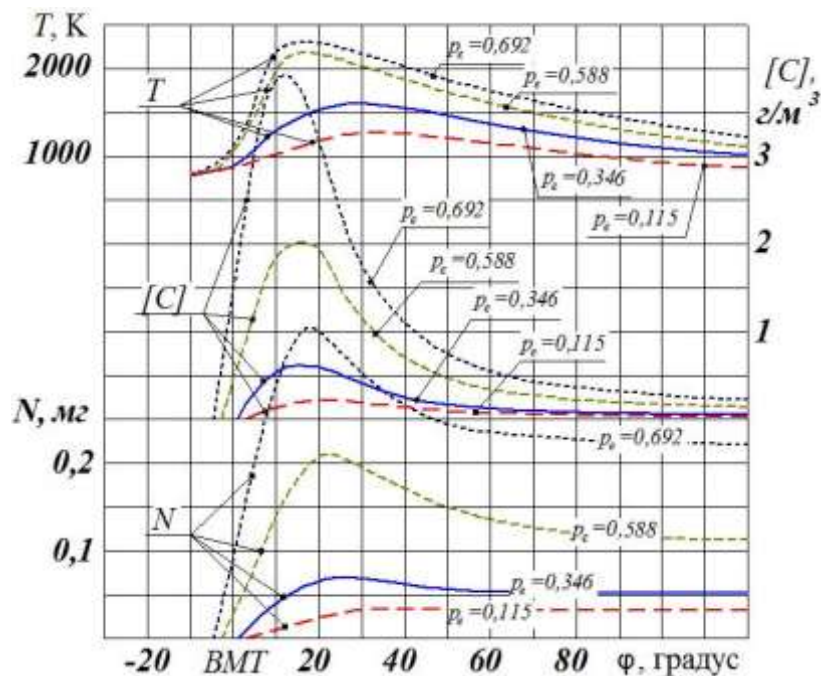


Рис. 3. Осредненная температура газов в цилиндре и показатели сажесодержания в цилиндре дизеля при работе на этаноле и РМ на оптимальных УУОВТ в зависимости от угла п.к.в. при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$.

Выводы.

По результатам исследования работы дизеля при различных нагрузочных режимах можно сделать вывод о том, что при малых p_e дымность и концентрация сажи в ОГ при работе на этаноле и РМ выше, чем при работе дизеля на ДТ. Однако с увеличением среднего эффективного давления p_e мы наблюдаем более интенсивный рост концентрации сажи в ОГ при работе двигателя на ДТ.

Таким образом, применение этанола и РМ с отдельной топливной подачей в дизеле позволяет сохранить эффективные показатели работы двигателя и существенно снизить концентрацию сажи в ОГ, особенно в режимах наибольшей нагрузки (при цикловых подачах этанола и РМ, соответствующих номинальному режиму работы).

Литература

1. Ассад, М. С. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент / М. С. Ассад, О. Г. Пенязьков. – Минск: Беларуская наука, 2010. – 305 с.
2. Батулин, С. А. Физические основы и математическое моделирование процессов сажевыделения и теплового излучения в дизелях: дис. ... д-ра техн. наук / С. А. Батулин. – Л., 1982. – 441 с.
3. Кульчицкий, А. Р. Исследование процессов образования и разработка методов снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей внедорожных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А. Р. Кульчицкий. – Владимир, 2006. – 35 с.
4. Лиханов, В. А. Сгорание и сажеобразование в цилиндре газодизеля / В. А. Лиханов. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 104 с.
5. Ложкин, В. Н. Исследование динамики и термических условий сажеобразования при сгорании распыленного топлива в цилиндре дизелей: дис. ... канд. техн. наук / В. Н. Ложкин. – Л., 1978. – 228 с.
6. Kittelson, D. Particle Formation and Models in Internal Combustion Engines / D. Kittelson, M. Kraft // Cambridge Centre for Computational Chemical Engineering. – 2014. – 39 с.
7. Khan, I. M. Formation and combustion of carbon in a diesel engine / I. M. Khan // Inst. Mech. Eng. Proc. – 1969. – V. 184. – P. 36-43.

Сведения об авторах

1. **Лиханов Виталий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская ГСХА, 610017, Киров, Октябрьский проспект, 133;
2. **Козлов Андрей Николаевич**, ассистент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская ГСХА; 610017, Киров, Октябрьский проспект, 133, e-mail: dnka59@mail.ru, тел. 8-909-131-94-39;
3. **Арасланов Марат Ильдарович**, ассистент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская ГСХА; 610017, Киров, Октябрьский проспект, 133.

EFFECT OF ETHANOL AND RAPE OIL APPLICATION ON THE INDICATORS OF THE COMBUSTION PROCESS AND SAGES CONTAINMENT IN THE TRACTOR DIESEL CYLINDER 2CH 10.5 / 12.0 DEPENDING ON LOAD CHANGE

V.A. Likhanov, A.N. Kozlov, M.I. Araslanov
Vyatka State Agricultural Academy
610017, Kirov, Russian Federation

Abstract. Today, the internal combustion engine is one of the main sources of harmful emissions into the environment. The smoke of the diesel engine adversely affects the environment and the operation of the diesel engine. High content of soot in the exhaust gases of the diesel indicates large fuel consumption, problems with mixture formation in a cylinder or work on rich mixtures. The soot represents dispersed carbon unburned in the combustion chamber. On the surface of soot particles, hazardous substances and products of incomplete combustion accumulate. Among them there are carcinogens.

One of the most effective methods to reduce the smoke of exhaust gases of diesel engines is the use of alternative oxygenate fuels, among them alcohols and vegetable oils. Vegetable oils are highly flammable under diesel conditions and can be used as a fuel for alcohol. Maximum flow of alcohol into the combustion chamber allows you to intensively reduce the smoke of exhaust gases.

The article presents the results of the study of operation of a diesel engine on ethanol and rapeseed oil at various loading regimes. The main attention is paid to the parameters of soot content in the cylinder and exhaust gases and combustion process parameters. The analysis of the change in the content of soot taking into account intra-cylinder processes is presented. As a result of the research, decrease in the smoke intensity of exhaust gases and the concentration of soot in the diesel cylinder has been established, depending on the load and the amount of cyclic injection of ethanol and rapeseed oil.

Key words: diesel, soot, exhaust gases, rapeseed oil, ethanol.

References

1. Lozhkin, V.N. Investigation of dynamics and thermal conditions of soot formation during combustion of atomized fuel in a diesel engine cylinder [Text]: dis. ... cand. of tech. Sciences / V.N. Lozhkin. - L., 1978. - 228 p.

2. Kulchitsky, A.R. Study of the processes of formation and development of methods for reducing emissions of harmful substances with exhaust gases of diesel engines of off-road vehicles [Text]: Abstract of thesis. dis. ... Dr. of tech. Sciences: 05.04.02 / Kulchitsky Alexey Removich. - Vladimir, 2006. - 35 p.
3. Particle Formation and Models in Internal Combustion Engines [Text] / David Kittelson, Markus Kraft // Cambridge Center for Computational Chemical Engineering. - 2014. - 39 p.
4. Likhanov, V.A. Combustion and soot formation in the gas-diesel cylinder [Text] / V.A. Likhanov. - Kirov: NIISH of the North-East, 2000. - 104 p.
5. Baturin, S.A. Physical bases and mathematical modeling of processes of soot emission and thermal radiation in diesel engines [Text]: dis cand. ... Dr. tech. Sciences: 05.04.02 / Baturin Sergey Anufrievich. - L., 1982. - 441 p.
6. Khan, I.M. Formation and combustion of carbon in a diesel engine [Text] / I.M. Khan // Inst. Mech. Eng. Proc. - 1969. - V. 184. -. Pp. 36-43.
7. Assad, M.S. Products of combustion of liquid and gaseous fuels: formation, calculation, experiment [Text] / M.S. Assad, O.G. Pennyazkov. - Minsk: Belarusian Science, 2010. – 305p. - ISBN 978-985-08-1143-1.

Information about authors

1. **Likhanov Vitaly Anatolievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vyatka State Agricultural Academy, Head of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Russian Federation, 610017, Kirov, October prospect, 133;
2. **Kozlov Andrey Nikolaevich**, Assistant of the Department of Thermal Engines, Cars and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, Russian Federation, 610017, Kirov, October prospect, 133; e-mail: dnka59@mail.ru; tel. 8-909-131-94-39;
3. **Araslanov Marat Ildarovich** - Assistant of the Department of Thermal Engines, Cars and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, Russian Federation, 610017, Kirov, October prospect, 133.

УДК 621.436

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВОДА ТЕПЛА ПО ФАЗАМ СГОРАНИЯ НА ИНДИКАТОРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

В.А. Лиханов, А.Н. Козлов, М.И. Арасланов

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

Аннотация. Характеристика активного тепловыделения – основа теплового процесса, конечным полезным результатом которого является индикаторная работа цикла. Количество и динамика подвода тепла к рабочему телу, описываемые при характеристике активного тепловыделения, определяют основные показатели и параметры рабочего цикла. Выявление качественной связи между динамикой тепловыделения и характеристиками работы дизеля позволяет определять пути оптимизации закона топливоподачи, совершенствования состава топлива, внесения изменений в конструкцию камеры сгорания дизеля, процесс смесеобразования и др. В данной статье рассмотрено влияние динамики тепловыделения в различных фазах сгорания на индикаторные показатели работы двигателя. Учитывалась возможность изменения скорости сгорания топлива в период гомогенного горения, что характерно для работы дизеля с ранним установочным углом опережения подачи топлива, при этом длительность периода и смещение его относительно верхней мертвой точки не учитывалась. Одновременно с ростом количества тепла, подводимого в период кинетического горения, уменьшалась скорость тепловыделения на поздних стадиях диффузионного горения и догорания топлива в цилиндре. Приведены расчетные значения осредненной температуры и давления рабочего тела в зависимости от угла поворота коленчатого вала при модифицированных законах подвода тепла. В заключение предложены пути оптимизации способов сгорания в дизеле для повышения индикаторной работы цикла.

Ключевые слова: дизель, сгорание, характеристика тепловыделения, работа цикла.

Введение. Характеристика активного тепловыделения представляет конечное проявление сгорания и теплопередачи. В связи с этим вытекает необходимость изучения тепловыделения с разных сторон. Во-первых, исследуются связи между сгоранием и тепловыделением, во-вторых, – между тепловыделением и параметрами индикаторного процесса. Именно такая схема наиболее плодотворна при исследовании влияния процесса сгорания на рабочий процесс [1].

Несмотря на общепризнанность существенного влияния сгорания на работу современных быстроходных форсированных двигателей, конкретные связи между параметрами процесса сгорания и показателями рабочего процесса остаются не выявленными.