Information about authors

Ivanshchikov Yuri Vasilievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Chair of Technical Service, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K.Marks str., 29; e-mail: iuv53@mail.ru, phone: 89278640063;

Dobrokhotov Yuriy Nikolayevich, Associate Professor, Department of Technical Service,Chuvash State Agricultural Academy,428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K.Marksa street, 29; e-mail: dobrokhotov47@mail.ru phone: 89196742554;

Andreev Roman Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Service, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K.Marksa street, 29; e-mail: rv_andreev@mail.ru, phone: 89278586082.

УДК 621.436

СНИЖЕНИЕ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА

В.А. Лиханов, А.В. Россохин
Вятская государственная сельскохозяйственная академия
610017, Киров, Российская Федерация

Аннотация. *В статье рассмотрены способы снижения сажесодержания в отработавших газах автотракторных дизелей (дымности) путем применения альтернативного топлива – компримированного природного газа. Рассмотрено влияние газомоторного топлива на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и в отработавших газах быстроходного дизеля Д-245.12С размерности 4ЧН 11,0/125 с турбонаддувом и жидкостным охлаждением.*

Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований, позволяющие сделать вывод об эффективности и целесообразности применения указанного топлива для снижения дымности отработавших газов.

Ключевые слова: *дизель, газодизель, сажа, сажесодержание, дымность, индикаторные показатели, отработавшие газы.*

Введение. Производство дизелей – одно из приоритетных направлений в машиностроении, поскольку оно обеспечивает решение целого ряда проблем: научно-технических, экономических, экологических, оборонных и других. Дизели являются безальтернативными энергетическими установками в автомобильном, тракторном, строительном и сельскохозяйственном машиностроении, а их характеристики, в конечном счете, определяют эксплуатационные, энергетические, экономические, экологические и массогабаритные показатели эксплуатируемой техники. Производство дизелей для ВС РФ способствует укреплению обороноспособности страны и имеет стратегическое значение. Весь специализированный подвижной состав автомобильного транспорта, используемого в строительстве и дорожном хозяйстве в качестве силовых установок, использует дизельные двигатели.

Общемировая тенденция по форсированию двигателя внутреннего сгорания (ДВС), в том числе и дизелей, в первую очередь по среднему эффективному давлению приводит к повышению средней температуры цикла и, как следствие, повышению тепловой напряженности деталей и содержанию сажи в отработавших газах. Соответственно, необходимо проводить мероприятия по снижению тепловой нагрузки на детали, непосредственно контактирующие с горячими газами. Это, в свою очередь, приводит к росту тепловых потерь, что отрицательно сказывается на экономичности работы двигателя.

Кроме того, ДВС и, в частности, дизели являются одними из основных источников загрязнения воздушного бассейна в крупных городах. Для снижения выбросов вредных веществ автомобильным транспортом в окружающую среду, особенно в крупных городах, в РФ принята «Концепция развития автомобильной промышленности РФ».

Наиболее опасными и токсичными составляющими отработавших газов дизелей (в дальнейшем именуемые в нашей работе ОГ) являются оксиды азота NO_x и твердые частицы (ТЧ), составляющей которых в значительной степени является сажа. Значительную опасность для здоровья людей представляет бенз(α)пирен, адсорбируемый на поверхности сажевых частиц. Снижение выбросов сажи с ОГ дизелей позволит снизить выбросы бенз(α)пирена в окружающую среду и его негативное воздействие на людей и животных. Для выполнения постоянно ужесточающихся экологических требований необходимо либо совершенствовать рабочий процесс, либо проводить дополнительную очистку и нейтрализацию ОГ, что связано с большими материальными и временными затратами. Специалисты отмечают, что за счет воздействия на рабочий процесс дизеля возможно достижение соответствия экологическим нормам не выше стандарта Евро-3. При этом снижение дымности ОГ приводит, как правило, к росту содержания в ОГ оксидов азота и наоборот.

В то же время использование альтернативного, экологически более чистого моторного топлива позволит снизить токсичность ОГ дизелей. При этом, по мнению специалистов, наиболее перспективным топливом на ближайшие десятилетия как с точки зрения величины запасов, так и с точки зрения низкой стоимости и

экологичности является компримированный природный газ (КПГ).

Значительный интерес при этом представляет определение массовой С и относительной r концентрации сажи в цилиндре дизеля, а также количество частиц сажи в единице объема цилиндра. Имеющиеся данные по этому вопросу часто противоречивы и ставят под сомнение их использование в условиях, отличных от тех, в которых они были получены с необходимой степенью достоверности.

В данной работе рассмотрено использование газомоторного топлива в автотракторном дизеле Д-245.12С.

Материалы и методы. С помощью программы для определения массовой и относительной концентрации сажи в цилиндре дизеля нами была рассчитана массовая С и относительная r концентрации сажи в цилиндре дизеля и газодизеля с турбонаддувом (Д-245.12С) размерности 4ЧН 11, 0/12,5 в зависимости от угла поворота коленчатого вала (п.к.в.). Расчет концентрации сажи в цилиндре дизеля проводился по известным методикам, разработанным профессорами С.А. Батуриным, А. С. Лоскутовым и В. Н. Ложкиным [1].

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 представлено изменение показателей сажесодержания и температуры в цилиндре дизеля и газодизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла ПКВ при номинальном режиме работы ($n = 2400$ мин$^{-1}$, $p_e = 0{,}84$ МПа) при $\Theta_{впр} = 11$ ПКВ.

Из представленных зависимостей видно, что начало видимого сгорания топлива начинается через 2-3° после ВМТ. Воспламенение рабочей смеси приводит к интенсивному тепловыделению, и температура газов быстро достигает максимального значения: 2100 К при дизельном процессе и 2500 К при газодизельном. Результирующее сажесодержание в ОГ складывается из двух противоположно направленных процессов – образования частиц и их выгорания. Преобладание какого-либо процесса на определенном участке процесса сгорания топливовоздушной смеси ведет к изменению концентрации сажи в ту или иную сторону.

Учитывая, что горение дизельного топлива (ДТ) и метановоздушной смеси (МВС) представляет собой турбулентное пламя предварительно не перемешанной смеси, процессы горения реализуются в условиях пространственной неоднородности и неравновесности распределения топлива в МВС, неустойчивости во времени, а также с учетом молекулярной и турбулентной диффузии.

Начало сажевыделения в цилиндре дизеля совпадает с началом видимого сгорания, то есть сажа образуется сразу же, как только появляется устойчивый фронт пламени. Результирующее сажесодержание при этом складывается из трех этапов процесса сажеобразования.

На первом этапе происходит резкое возрастание массовой концентрации сажи в цилиндре дизеля в результате преобладающего влияния процесса сажеобразования над ее выгоранием. На этом участке пламя быстро распространяется на весь объем подготовленной к сгоранию за период задержки воспламенения (ПЗВ) смеси.

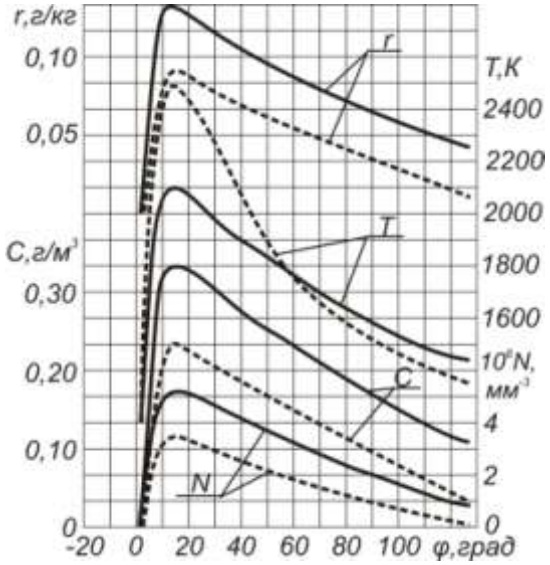

Рис. 1. Изменение показателей сажесодержания и температуры в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла ПКВ при $\Theta_{впр} = 11$ п.к.в.; $n = 2400$ мин$^{-1}$ и $p_e = 0{,}84$ МПа:
——— - дизель; - - - - - - газодизель

С учетом проведенных в разное время исследований по изучению механизмов сажеобразования при горении углеводородного топлива, результаты которых на сегодняшний день не вызывают сомнений, мы предполагаем, что образование основной массы частиц сажи происходит по цепному радикальному процессу и основными путями образования сажи в цилиндре дизеля с турбонаддувом при работе на КПГ является низкотемпературный фенильный механизм (НТФМ), преобладающий в ядре факела при температуре менее 1500 К, и высокотемпературный ацетиленовый механизм (ВТАМ), преобладающий в переднем фронте при температуре более 1500 К [2, 3].

Образование сажи происходит преимущественно в ядре струи запального ДТ в результате термического и окислительного пиролиза топлива в условиях недостатка окислителя, где концентрация топлива высока и локальный коэффициент избытка воздуха находится ниже «порога сажеобразования». На начальном этапе и в

ядре факела преобладающим механизмом сажеобразования является НТФМ. Быстрое расширение фронта пламени обусловливает увеличение количества топлива, сгорающего в этом фронте по диффузионному механизму, а следовательно, и соответствующий рост массового выхода сажи. В условиях повышенной турбулизации заряда основная масса образующейся сажи выносится из пламени в зоны с относительно низкой температурой и избытком окислителя. В этих зонах начинается окисление сажевых частиц, но из-за низкой температуры процессы окисления замедлены и не могут конкурировать с процессами сажеобразования, поэтому массовая концентрация сажи в цилиндре быстро возрастает.

На втором этапе процесса сажеобразования пламенем охвачена большая часть объема цилиндра и происходит диффузионное горение основной части заряда. Температура в цилиндре повышается до максимального значения, и процессы образования и выгорания сажи идут в соответствии с соизмеримыми скоростями, но суммарное сажесодержание продолжает увеличиваться. На этом участке основным механизмом образования сажи является ВТАМ. Образовавшиеся в результате физико-химических превращений топлива частицы сажи окисляются и газифицируются, так как температура газов становится достаточно высокой также, как и общий коэффициент избытка воздуха [4].

На третьем этапе процесс выгорания сажи доминирует над процессом ее образования. Сгорание основной массы заряда к этому времени завершилось, и возможно лишь догорание отдельных локальных объемов смеси и сажевых частиц. Работа дизеля с турбонаддувом характеризуется значительным обеднением смеси даже при режиме высоких нагрузок и повышенной турбулентности смеси в цилиндре двигателя, то есть создаются благоприятные условия для выгорания сажевых частиц. Этот процесс длится до открытия выпускных клапанов, а содержание сажи при этом снижается до значений, определяющих дымность ОГ.

Выводы

Основными факторами, оказывающими влияние на процессы образования и сгорания сажи в цилиндре, являются значения T_{max}, $p_{z\ max}$ цикла, время пребывания частиц в зоне реакции и коэффициент избытка воздуха α. Скорость выгорания сажи определяется скоростями химических реакций на поверхности частиц. Совместное влияние на скорость выгорания сажи оказывают температура продуктов сгорания и концентрация в них кислорода. Минимальный уровень дымности ОГ дизеля при работе на КПГ можно объяснить наличием турбонаддува, обеспечивающего повышенную плотность и турбулентность заряда, а также тем, что метан является наименее склонным к сажеобразованию углеводородом.

При работе по дизельному процессу массовая концентрация С сажи достигает своего максимума в 0,33 г/м^3 через 15° ПКВ после ВМТ, после чего начинает снижаться, достигая к моменту открытия выпускного клапана величины 0,11 г/м^3, то есть снижается в 3 раза.

При работе по газодизельному процессу C_{max} = 0,23 г/м^3, а к моменту открытия выпускного клапана составляет всего 0,03 г/м^3, то есть снижается в 7,7 раза.

При работе по дизельному процессу максимальная относительная концентрация r сажи составляет 0,133 г/кг, а к моменту открытия выпускного клапана - 0,044 г/кг, то есть снижение составляет 66,9 %. При работе по газодизельному процессу максимальная относительная концентрация r сажи составляет 0,093 г/кг, а к моменту открытия выпускного клапана - 0,012 г/кг, то есть снижается в 7,7 раза.

Сильное влияние на излучательную способность и радиационное излучение пламени оказывает количество сажевых частиц в единице объема реакции и их размеры. При проведении расчетов по определению количества N частиц сажи в единице объема нами были приняты следующие допущения:

1. полидисперсная система сажевых частиц представлена монодисперсной с эквивалентным модальным радиусом частиц 20 нм;

2. плотность сажевых частиц не зависит от механизма образования и составляет 1,9 г/см^3.

На основании этих допущений расчетное максимальное количество сажевых частиц составляет $5{,}2\cdot10^6$ в мм^3 для дизельного процесса и $3{,}6\cdot10^6$ в мм^3 для газодизельного процесса. После достижения максимума при дальнейшем повороте коленчатого вала количество сажевых частиц снижается пропорционально снижению массовой концентрации. К моменту открытия выпускного клапана при работе по дизельному процессу количество частиц N сажи составляет уже $1{,}7\cdot10^6$ в мм^3, то есть снижается на 67 %, а при работе по газодизельному процессу количество частиц N сажи составляет $0{,}4\cdot10^6$ в мм^3, то есть снижается на 88,9 %.

Полученные результаты позволяют говорить об эффективности использования КПГ в качестве моторного топлива в дизеле с турбонаддувом с целью снижения дымности ОГ и, соответственно, сажесодержания в ОГ. Необходимо отметить, что указанный дизель Д-245.12С по дымности ОГ соответствует нормам Евро-1, а его газодизельная модификация со значительным запасом - нормам Евро-4.

В то же время при переходе на газодизельный процесс повышается содержание в ОГ несгоревших углеводородов СН и диоксида углерода CO_2. Снижения содержания СН в ОГ можно добиться путем установки каталитического нейтрализатора, а CO_2 является продуктом полного сгорания топлива, нетоксичен, хотя и относится к газам, вызывающим «парниковый эффект».

Литература

1. Батурин, С.А. Физические основы и математическое моделирование процессов сажевыделения и теплового излучения в дизелях: дис. … д-ра техн. наук / С.А. Батурин. — Л., 1982 - 443 с.

2. Разлейцев, Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях / Н.Ф. Разлейцев. — Харьков: Высшая школа, 1980. – 169 с.

3. Решетников, С.М., Решетников И.С. Анатомия горения / С.М. Решетников, И.С. Решетников. — М.: НГСС, 2014. – 247 с.

4. Ямпольский, Ю. П. Элементарные реакции и механизм пиролиза углеводородов / Ю.П. Ямпольский. – М.: Химия, 1990. – 216 с.

Сведения об авторах

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;

Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, 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.

REDUCTION OF SOOT CONTENT IN EXHAUST GASES OF DIESELS THROUGH APPLICATION OF ALTERNATIVE FUELS

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

Abstract. *The article deals with the ways of reducing soot content in exhaust gases of automotive diesels through application of alternative fuel – compressed natural gas. The impact of these fuels on the performance of the combustion process and soot content for diesel D-245.12C (turbocharged, liquid cooling) is studied. The results of experimentation and theory research give the possibility to make a conclusion about efficiency and expediency of application of the given fuel.*

Key words: *diesel, gas diesel, soot, soot content, smokiness, performance indicators, exhaust gases.*

References

1. Baturin, S.A. Fisical bases and mathematical modeling of soot emission processes and heat radiation in diesel engines: Abstract of thesis …of Doctor of Technical Sciences /S. A. Baturin. Leningrad, 1982, - 443 p.

2. Yampol'skij, 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. Moscow, NGSS Publ., 2014,- 247 p.

4. Razleytsev N.F. Modelling 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, Kirovskaya 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 619:637.12

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ, ЭНЕРГЕТИИЧЕСКИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЛАГО-ПОЧВООХРАННОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА И КОРМОВ

Н. К. Мазитов[1),2),3)], А. П. Акимов[2)], Н. Т. Сорокин[1)], А. Е. Макушев[2)], Л.З. Шарафиев[3)]
[1)]Всероссийский научно-исследовательский институт механизации и информатизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства, 390025, г.Рязань, Российская Федерация
[2)]ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»
428003, Чебоксары, Российская Федерация
[3)]Казанский государственный аграрный университет, 420015, г.Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Назначение техники в сельском хозяйстве – выполнение технологии возделывания конкретной сельскохозяйственной культуры, а технологии призваны обеспечить выполнение всех биологических требований, предъявляемых к возделыванию сельскохозяйственных культур. Результат их*