

совместной работы газопоршневого двигателя и электрогенератора, и управления режимами выработки тепловой и электрической энергии, что влечёт за собой повышение топливной экономичности процесса генерации энергии.

Данный проект по созданию современной энергоустановки на базе газопоршневого двигателя реализуется кафедрой Двигатели внутреннего сгорания Алтайского государственного технического университета совместно с ОАО ХК «БарнаулТрансмаш» и ООО «АБИТ» и осуществляется по контрактам 14.740.11.0312 и 14.740.11.0521 на выполнение поисковых научно-исследовательских работ в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013.

#### **Литература:**

1. Щаулов В.Ю. Об опыте внедрения и эксплуатации газопоршневых мини-ТЭЦ Материалы Конференции «Малые и средние ТЭЦ. Современные решения». 7-9 сентября 2005 г. НП "Российское теплоснабжение"

2. Дубинин В.С., Лаврухин К.М. Перспективы использования поршневых машин для децентрализованной комбинированной выработки тепловой и электрической энергии. // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века 2001, № 6, 7.

3. Технические и экономические критерии выбора мощности мини-ТЭЦ на промышленных предприятиях (Часть 1) / Г.Я.Вагин, А.Б.Лоскутов, А.М.Мамонов и др. //– Промышленная энергетика №4, 2006. – С.38-43.

### **СНИЖЕНИЕ САЖЕСОДЕРЖАНИЯ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ С ТУРБОНАДДУВОМ РАЗМЕРНОСТИ 4ЧН 11,0/12,5 ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

**Лиханов В.А., Россохин А.В.** (Вятская государственная сельскохозяйственная академия)

Снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами ДВС, в том числе и дизелей, является очевидной и приоритетной задачей для всех производителей. На выполнение этих требований направлены и различные нормативно-правовые акты, принятые в большинстве стран мира.

Одним из способов снижения выбросов вредных веществ и, прежде всего, сажи является применение в качестве топлива компримированного природного газа. В данной работе нами рассмотрен способ снижения сажесодержания в ОГ за счет применения газодизельного процесса в дизеле с турбонаддувом Д-245.12С.

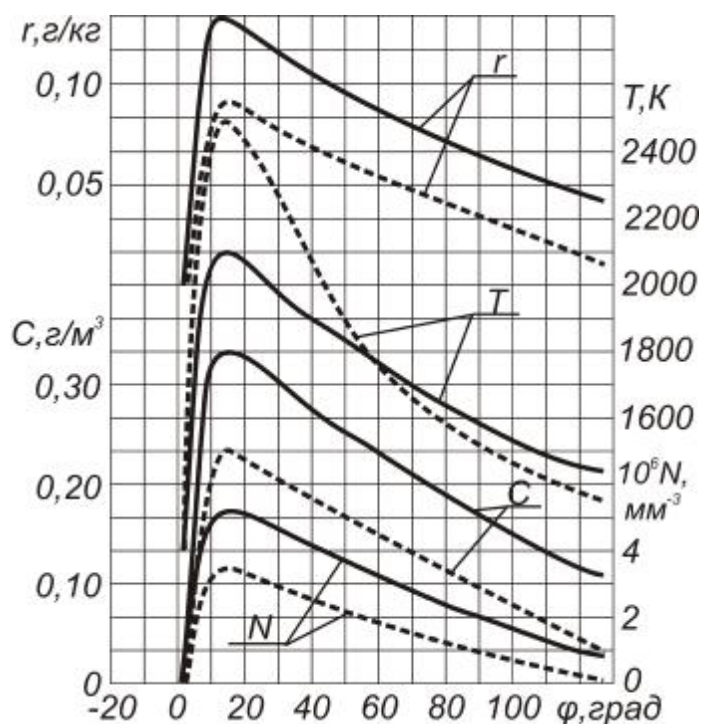
С помощью программы для определения массовой  $S$  и относительной  $g$  концентрации сажи в цилиндре дизеля нами была рассчитана массовая  $S$  и относительная  $g$  концентрации сажи в цилиндре дизеля и газодизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла п.к.в.

На рис. 1 представлено влияние применения природного газа на показатели сажесодержания и температуру в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла п.к.в. на номинальном режиме работы ( $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,84 \text{ МПа}$ ) при  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  п.к.в.

Из представленных зависимостей видно, что начало видимого сгорания топлива начинается через  $2^\circ \dots 3^\circ$  после в.м.т. 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 и выгорания сажевых частиц. Преобладание какого-либо процесса на определенном участке процесса сгорания топливовоздушной смеси ведет к изменению концентрации сажи в ту или иную сторону.

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



На первом этапе происходит резкое возрастание массовой и относительной 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 ПЗВ смеси.

Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели сажесодержания и температуру в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от угла п.к.в. при  $\Theta_{впр} = 11^\circ$  п.к.в.:  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,84 \text{ МПа}$ ; — дизель; - - - газодизель

Образование сажи происходит преимущественно в ядре струи запального ДТ в результате термического и окислительного пиролиза топлива в условиях недостатка окислителя. На начальном этапе преобладающим механизмом сажеобразования является НТФМ. Быстрое расширение фронта пламени обуславливает 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 замедленны 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 и происходит диффузионное горение основной части заряда. Температура в цилиндре повышается до максимального значения, и процессы образования и выгорания сажи идут 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, так как температура газов и общий коэффициент избытка воздуха становятся достаточно высокими.

На третьем этапе процесс выгорания сажи доминирует над процессом образо-

вания. 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 на режимах высоких нагрузок и повышенной турбулентностью 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.

При работе по дизельному процессу массовая концентрация  $C$  сажи достигает своего максимума в  $0,33 \text{ г/м}^3$  через  $15^\circ$  п.к.в. после в.м.т., после чего начинает снижаться, достигая к моменту открытия выпускного клапана величины  $0,11 \text{ г/м}^3$ , т.е. снижается в 3 раза.

В то же время при работе по газодизельному процессу  $C_{\max} = 0,23 \text{ г/м}^3$ , а к моменту открытия выпускного клапана составляет всего  $0,03 \text{ г/м}^3$ , т.е. снижается в 7,7 раза.

Изменение относительной концентрации сажи в цилиндре двигателя в зависимости от угла п.к.в. аналогично изменению массовой концентрации. При работе по дизельному процессу максимальная относительная концентрация  $\gamma$  сажи составляет  $0,133 \text{ г/кг}$ , а к моменту открытия выпускного клапана она составляет уже  $0,044 \text{ г/кг}$ , т.е. снижение составляет  $66,9 \%$ . При работе по газодизельному процессу максимальная относительная концентрация  $\gamma$  сажи составляет  $0,093 \text{ г/кг}$ , а к моменту открытия выпускного клапана всего  $0,012 \text{ г/кг}$ , т.е. снижается в 7,7 раза.

Сильное влияние на излучательную способность и радиационные характеристики пламени оказывает количество сажевых частиц в единице объема реакции. 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  $20 \text{ нм}$ .

2. Плотность сажевых частиц не зависит от механизма образования и составляет  $1,9 \text{ г/см}^3$ .

На основании этих допущений расчетное максимальное количество сажевых частиц составляет  $5,2 \cdot 10^6$  в  $\text{мм}^3$  для дизельного процесса и  $3,6 \cdot 10^6$  в  $\text{мм}^3$  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  $1,7 \cdot 10^6$  в  $\text{мм}^3$ , т.е. снижается на  $67 \%$ , а при работе по газодизельному процессу количество частиц  $N$  сажи составляет  $0,4 \cdot 10^6$  в  $\text{мм}^3$ , т.е. снижается на  $88,9 \%$ .

Следует отметить, что при работе по газодизельному процессу значение  $T_{\max}$  выше, чем при работе по дизельному процессу, но и скорость снижения температуры по углу п.к.в. тоже выше.

Окисление сажевых частиц, равно как и их образование, тоже идет несколькими путями. Схематически взаимодействие твердого углерода с газами можно разбить на несколько последовательно протекающих этапов. Первым из них является доставка окислителя из газовой атмосферы к поверхности раздела фаз путем молекулярной и конвективной диффузии. Вторым этапом является физическая или химическая адсорбция молекул окислителя, сопровождающаяся в ряде случаев объемным растворением. Третьим этапом сводится к взаимодействию адсорбированного окислителя с поверхностными атомами углерода и к образованию продуктов реакции, также адсорбированных на графите. Наконец, четвертый и пятый этапы

представляют собой десорбцию продуктов реакции и удаление (ре-диффузию) их в газовую фазу. Таким образом, процесс в целом включает в себя три вида процессов: диффузионные, адсорбционные и собственно химические, из которых два последних весьма тесно переплетаются.

При низких температурах происходит медленное окисление углерода, при котором преобладают сорбционные процессы. Сорбционный механизм взаимодействия с кислородом даже для наименее активных углей (графит, электродный уголь, высокотемпературный кокс) перестает играть роль при температурах 600 - 800 К. (При взаимодействии углерода с двуокисью углерода или водяным паром сорбционные явления оказывают влияние даже при температурах 1000 - 1200 К). По мере повышения химической активности угля и увеличения экзотермического эффекта реакции наблюдается снижение значений тех температур, после достижения которых роль сорбционных процессов значительно сокращается.

При высокотемпературном горении скорости адсорбции и десорбции настолько велики, что можно пренебречь нестационарностью, связанной с сорбционными процессами. При этом можно считать, что данному количеству поглощенного углем окислителя отвечает стехиометрическое количество выделяющихся продуктов реакции. Механизм горения в этих условиях вследствие быстроты сорбционных процессов приобретает как бы мгновенный, «ударный» характер.

По результатам исследований можно сделать вывод об эффективности использования природного газа для улучшения экологических показателей автомобильных и тракторных дизелей, в том числе с турбонаддувом. Прежде всего это относится к снижению содержания в отработавших газах сажи, представляющей серьезную опасность для здоровья человека благодаря адсорбции на ее поверхности канцерогенных веществ.

## **МОБИЛЬНАЯ АВТОНОМНАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА С ДВС НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ КОНТЕЙНЕРНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ДЛЯ «МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»**

**Маслов Ю.Л., Лавров Б.П.** (МГТУ им. Н.Э.Баумана), **Шаповалов А.С.** (ООО «Энергомашсервис»)

Для исследования возможности использования альтернативных и возобновляемых топлив в «малой энергетике» в МГТУ им. Н.Э.Баумана, начиная с 1990 года/ в Проблемной лаборатории ДВС проводятся комплексные исследования по созданию энергоустановок с ДВС и двигателями Стирлинга и газогенераторными установками на растительных и древесных отходах для тепло-электроснабжения небольших предприятий, фермерских хозяйств, жилых объектов и т.п., а также для привода насосов, вентиляторов и разнообразных средств малой механизации. Это – продолжение работ, выполненных коллективом кафедры под руководством профессора Д.Н.Вырубова в 1941-43 г.г. по заданиям различных наркоматов по переводу ДВС и металлургических печей на газообразные топлива, получаемые из местных видов топлив.

После проведения обзора работ по использованию газогенераторных установок в различных отраслях народного хозяйства и их анализа, на кафедре был спроектирован и изготовлен газогенератор (ГГ) транспортного типа на растительных и древесных отходах обращенного процесса газификации с предварительным