

определяемых ингредиентов в отработанных газах ДВС. Речь идет об альдегидах и некоторых видах ПАУ. Вызывает также интерес расчёт технико-экологических параметров ДВС и на переходных режимах, где имеют место экстремальные выбросы вредных веществ.

#### **Литература:**

1. Булыгин Ю.И. Компьютерное моделирование рабочего процесса в ДВС // Изв. вузов. Машиностроение. 2001. № 6. С. 31-48.
2. Булыгин Ю.И., Жигулин И.Н., Магнитский Ю.А., Яценко О.В. Математическое моделирование рабочего процесса поршневых машин. Монография / РГУ ПС. - Ростов н/Д, 2001. - 208 с.
3. Булыгин Ю.И., Яценко О.В., Ладоша Е.Н., Жигулин И.Н. Расчет энерго-экологических параметров ДВС "ENGINE" / Свидетельство об официальной рег. ПрЭВМ № 2002610605. М.: РОСПАТЕНТ, 2002.
4. Ладоша Е.Н., Холодова С.Н., Яценко О.В. Статистические методы и идентификация математических моделей токсичности транспортных двигателей // Изв. Вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2005. №2. С. 20-26.
5. Лукачёв С.В. Образование и выгорание бенз(а)пирена при сжигании углеводородных топлив. – М.: Машиностроение, 1999.- 153 с.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ЛИМИТИРУЮЩИХ ВЫБРОС ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЕЙ**

**Кульчицкий А.Р., Гоц А.Н., Голев Б.Ю., Лазарев В.М.**  
(Владимирский государственный университет)

Согласно международной нормативно-технической документации оценка экологического уровня дизелей, а также транспортных средств с дизелями производится на основании определения удельного выброса как газообразных вредных веществ (ВВ) – суммарных углеводородов  $C_nH_m$ , оксида углерода СО и оксидов азота  $NO_x$ , так и дисперсных частиц РМ (Particle Matter).

Применительно к процессам горения топлива в двигателях внутреннего сгорания под дисперсными частицами понимаются все твердые и жидкие вещества, находящиеся в отработавших газах (ОГ) дизелей. К жидким веществам относят, в основном, часть суммарных углеводородов, которые способны конденсироваться при понижении температуры ОГ вследствие их смешения с воздухом; вода в состав РМ не входит. К указанной группе углеводородов относятся тяжелые углеводороды  $C_nH_b$  с углеродной группой от  $C_5$  до  $C_{17}$ . Что касается твердых веществ, то к ним относятся сажа С (т.е. углерод), твердые сульфаты  $MSO_4$ , тяжелые углеводороды (с углеродной группой от  $C_{18}$  и выше), а также зола, кокс топлива и продукты износа деталей двигателя. Здесь следует отметить, что распространенное название "твердые частицы" не отражает действительности, так как не учитывает наличие жидких веществ в РМ.

В настоящее время (согласно Правилам ЕЭК ООН №49-03 и №96-01) оценка эмиссии РМ с ОГ дизелей производится с помощью т.н. гравиметрического метода: измерения разницы весов фильтра, через который пропускают смесь ОГ и разбавляющего воздуха до и после испытаний (т.е. весов чистого и использованного фильтров).

Во-первых, особенности методики измерения таковы, что, результат представлен как интегральная величина, учитывающая содержание в ОГ всех выщеперечисленных составляющих РМ. Учитывая, что механизм образования компонентов РМ различен, по данным об удельном выбросе дисперсных частиц невозможно сделать заключение о компонентах, которые оказывают наибольшее влияние на выброс РМ.

Во-вторых, процесс измерения эмиссии РМ гораздо более длителен по сравнению с измерением содержания газообразных ВВ в ОГ или уровня дымности ОГ. Затраты времени обусловлены:

- необходимостью предварительной выдержки фильтров в течение нескольких часов для стабилизации уровня их влажности (чтобы исключить влияние паров воды);
- холостой прогонки двигателя для получения данных по расходу воздушного заряда с целью настройки режимов измерения;
- проведения непосредственно испытаний на двигателе или ТС, заключительной выдержки фильтров после испытаний (также с целью стабилизации их влажности);
- их взвешиванием;
- занесением вручную в программу компьютера данных взвешивания фильтров.

Принимая во внимание, что во время испытаний необходимо проведение измерений одновременно всех нормируемых компонентов, то именно оценка эмиссии РМ является узким местом.

Необходимо также отметить, что минимальное количество фильтров на цикл испытаний два: первичный и вторичный; последний ставят на случай прорыва первичного. Однако фактическое количество фильтров, которое заранее невозможно определить, зависит от уровня выбросов как загрязняющих веществ с ОГ, так и степени влажности ОГ; смена производится при превышении сопротивления оказываемого этими фильтрами определенного уровня, а также в случае их прорыва. Таким образом, если за весь цикл испытаний использована только одна пара фильтров, то невозможно получить данные о влиянии каждого режима на общий выброс РМ. Соответственно, невозможно выявить режим (или режимы), которые лимитируют выброс РМ.

С целью выявления основных факторов, определяющих выброс РМ с ОГ, а также сокращения затрат времени и средств при проведении исследований по оценке экологических показателей дизелей, рядом автором разработаны расчетные методики, позволяющие выявлять как компоненты РМ, так и режимы испытаний, которые вносят существенный вклад в итоговую величину. Однако анализ этих методик показал, что при этом либо учитывается только дымность ОГ (I группа моделей [1, 2, 3, 4]), либо дымность ОГ и концентрация тяжелых углеводородов (II группа моделей [5, 6, 7]).

Модели I группы приемлемы для двигателей, у которых выброс РМ полностью определяется выбросом сажи, т.е. для двигателей с высоким уровнем дымности ОГ (не менее 50% по шкале Hartridge на режимах номинальной мощности и максимального крутящего момента). При меньших значениях дымности ОГ начинает сказываться влияние эмиссии тяжелых углеводородов, а в случае небольших значений обоих показателей – становится заметным влияние твердых сульфатов (т.е. наличие серы в топливе), Основная погрешность моделей II группы обусловлена

допущением постоянства содержания тяжелых углеводородов в суммарных независимо от режима работы двигателя; в разных моделях эта величина колеблется от 25 до 55%. Кроме того, в моделях обеих групп не выделены твердые сульфаты.

С учетом указанных недостатков была разработана аналогичная методика, позволяющая оценивать выброс РМ на любом режиме работы дизеля по данным расчета основных составляющих частиц – сажи (по данным измерения дымности ОГ), твердых сульфатов (через расход топлива  $G_T$  и содержание серы в топливе) и тяжелых углеводородов. Первые два компонента рассчитываются на основании известных формул, а концентрация тяжелых углеводородов – в зависимости от режима работы двигателя, при этом режим идентифицируется через коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  [8]:

- для дизелей с турбонаддувом:

$$C_aH_b = (-0,0171 \alpha^2 + 0,2106 \alpha - 0,244) C_nH_m;$$

- для дизелей со свободным впуском воздуха:

$$C_aH_b = (-0,0215 \alpha^2 + 0,1897 \alpha + 0,0631) C_nH_m,$$

где  $C_nH_m$  – концентрация суммарных углеводородов в ОГ в пересчете на метан  $CH_4$ , ppm.

Таким образом, общий вид зависимости концентрации дисперсных частиц в ОГ от уровня дымности ОГ, массового содержания серы в топливе, концентрации суммарных углеводородов и коэффициента избытка воздуха имеет вид:

$$PM = f_1(N) + f_2(S, G_T) + f_3(C_nH_m, \alpha)$$

Применение разработанной модели и программы расчета эмиссии компонентов РМ и, соответственно, по этим данным – эмиссии дисперсных частиц позволило при исследованиях дизелей выявлять как компоненты, так и режимы работы дизеля, оказывающие наибольшее влияние на общую эмиссию РМ. На рисунке приведен пример подобных расчетов для условий испытаний тракторного дизеля по 8-ступенчатому циклу испытаний согласно Правилам ЕЭК ООН №96-01.

Интерес здесь представляет тот факт, что основной вклад в удельный выброс дисперсных частиц вносит режим №4 – 10% номинальной мощности, а не режимы №1 и 5 – режимы номинальной мощности и максимального крутящего момента, соответственно.

При этом, вклад тяжелых углеводородов на этом режиме – более 90%. Общий же вклад тяжелых углеводородов в выброс РМ – 54% по сравнению с 31% сажи и 15% твердых сульфатов.

#### ВЫВОДЫ:

На основании разработанной методики проведены численные расчеты, которые выявили, что:

- содержание тяжелых углеводородов  $C_aH_b$  в суммарных  $C_nH_m$  в зависимости от режима работы дизеля составляет 10...50%;
- относительное содержание в дисперсных частицах тяжелых углеводородов, сажи и твердых сульфатов для двигателей изменяется в интервалах:  $C_aH_b$  – 20...80%, S – 10...50%,  $MSO_4$  – 5...30%.

1. Разработанная методика позволяет:

- сократить время испытаний дизелей по оценке эмиссии дисперсных частиц в 3...4 раза по сравнению с чисто экспериментальным методом;
- повысить эффективность анализа рабочего процесса и разработки мероприятий по снижению эмиссии дисперсных частиц на основе определения лимитирующих уровень выброса РМ их компонентов и режимов работы дизеля.

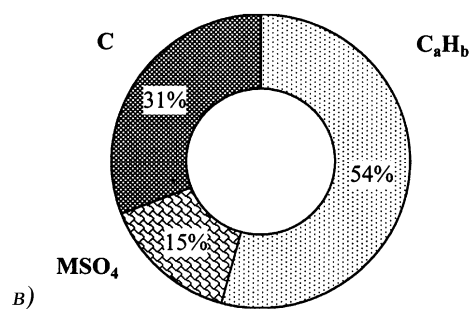
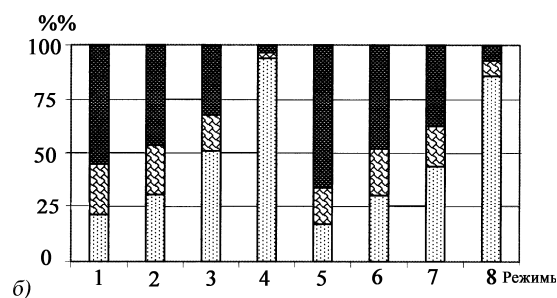
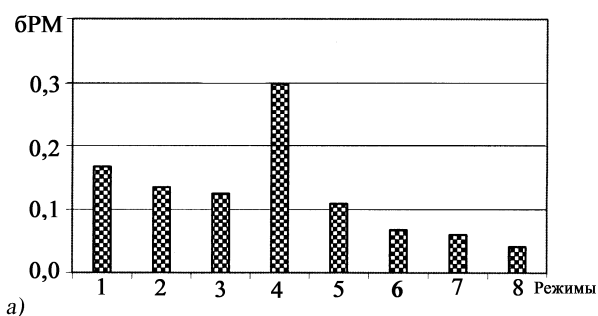


Рисунок. Оценка влияния режимов испытательного цикла согласно Правилам ЕЭК ООН №96 на: а) удельный выброс РМ; б) выброс основных компонентов РМ (снизу-вверх: тяжелые углеводороды, твердые сульфаты, сажа); в) вклад компонентов РМ в удельный выброс дисперсных частиц с ОГ тракторного дизеля

### Литература:

1. Alkidas A.C. Relationship between smoke measurements and particulate measurements // SAE Paper. – 1984. - No 840412. – 9 p.
  2. Muntean G.G. A theoretical model for the correlation of smoke number to dry particulate concentration in diesel exhaust // SAE paper. – 1999. –N 1999-01-0515.–9 p.
  3. Hardenberg H., Albrecht H. Grenzen der Rußmassbestimmung aus optischen Transmessungen // MTZ: Motortechn. Z. – 1987. – № 2. – S. 51-54.
  4. Экология автомобильных двигателей внутреннего сгорания // В.А.Звонов, Л.С.Заиграев, В.И.Черных, А.В.Козлов. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2004. – 268 с.
  5. Greeves G, Wang J.T. Origins of Diesel Particulate Mass Emissions // SAE Transactions, Vol. 90, pp.1161-1172, 1981.
  6. Парсаданов И.В.Повышение качества дизелей на основе топливно-экологического критерия. – Харьков: Изд. Центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
  7. Филипосянц Т. Р., Иванов А. Г. К вопросу об ускоренных методах контроля и доводки дизелей по экологическим параметрам // Экология двигателя и автомобиля: Сб. научн. тр. НАМИ. – М., 1998. – С. 19–25.
  8. Кульчицкий А.Р. Расчет эмиссии дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / Тракторы и сельскохозяйственные машины, №10, 2006. – С. 18-19.
- E-mail: [ark6975@mail.ru](mailto:ark6975@mail.ru) А.Р. Кульчицкий

## ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЯ

Салова Т.Ю. (Санкт-Петербургский государственный аграрный университет)

В результате выполненных исследований установлено, что реализация максимальной степени восстановления оксидов азота и снижение выбросов углеводородов с отработавшими газами (ОГ) двигателя внутреннего сгорания (ДВС) при эксплуатации мобильной техники в значительной мере зависит от обеспечения надлежащих тепловых режимов работы системы нейтрализации ОГ.