

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/UAET1531>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ 73.31.41; 55.42.81

<https://doi.org/10.48081/VEGG5490>***А. Р. Кульчицкий**

АО «Камешковский механический завод»,

Российская Федерация, г. Камешково

* e-mail: ark6975@mail.ru**СНИЖЕНИЕ ЭМИССИИ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ
С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЕЙ**

Вредные дисперсные частицы (Particulate Matter – PM), содержащиеся в смеси отработавших газов (ОГ) двигателей внутреннего сгорания и воздуха, в отличие от газообразных вредных веществ, находятся в различном агрегатном состоянии: твёрдом и жидком. Наличие жидких частиц связано с конденсацией части несгоревших углеводородов топлива и смазочного масла вследствие понижения температуры ОГ при их разбавлении воздухом. А наличие твердых веществ определяется выбросом не только сажи, но твердых сульфатов, а также части несгоревших углеводородов топлива и масла вследствие их конденсации. При этом воду, находящуюся в отработавших газах, в состав PM не включают, что обеспечивается термостатированием фильтров, на которых осаждаются PM, до и после испытаний.

Однако в ходе стандартизованного (гравиметрического) метода измерения содержания PM в отработавших газах невозможно обеспечить идентификацию этих составляющих. Поэтому часто под дисперсными частицами подразумевают только сажу (твёрдый углерод). Кроме того, влияние режима работы двигателя на различные составляющие не идентично: если концентрация сажи в отработавших газах пропорциональна нагрузке, то наличие жидких составляющих более характерно для режимов малых нагрузок.

Подобные упрощения не обеспечат разработку целенаправленных мероприятий по снижению эмиссии PM, поскольку не будут приняты во внимание, с одной стороны, все их основные составляющие, а с другой стороны – влияние режима работы двигателя.

Ключевые слова: дизельный двигатель, отработавшие газы, дисперсные частицы, сажа, твёрдые сульфаты, углеводороды.

Введение

До 1989 г. согласно международным и национальным стандартам для любых типов двигателей внутреннего сгорания регламентировали содержание в отработавших газах (ОГ) только газообразных вредных веществ (ВВ): оксидов азота NO_x, оксида углерода CO и суммарных углеводородов C_nH_m. А для дизелей, кроме того, – еще и такой физический показатель как «непрозрачность ОГ», называемый «дымность ОГ». Однако в 1989 г. в США, в 1992 г. в Европе

и Японии, а в 2000 г. и в России дополнительно ввели норму на эмиссию с ОГ дизелей еще одного ВВ - дисперсных частиц (Particle Matter - PM). Для двигателей с принудительным воспламенением это показатель нормированию пока не подлежит, хотя такая возможность прорабатывается.

Дисперсные частицы часто называют «твердыми частицами», и под этим подразумевают только сажу (твёрдый углерод). На самом деле, составляющими PM кроме сажи являются не только другие твердые вещества, но и жидкие. Наличие жидких веществ связано с конденсацией части несгоревших топлива и смазочного масла (углеводороды с углеродными группами от C_5 до C_{17} , т.е. от пентана и выше) вследствие понижения температуры ОГ при их разбавлении воздухом. Воду, находящуюся в ОГ, в состав PM не включают (это обеспечивается посредством выдерживания фильтров в термостате до и после испытаний при постоянной влажности). Наличие же твердых веществ определяется выбросом не только сажи, но твердых сульфатов, а также части несгоревших топлива и масла (углеводороды с углеродными группами от C_{18} и выше) вследствие их конденсации. Все указанные жидкие и твердые углеводороды носят название тяжелых углеводородов C_aH_b .

Стандартизованный метод измерения эмиссии PM с ОГ – гравиметрический: согласно ему определяется разница в весе фильтров до и после пропускания через них смеси ОГ и воздуха (т.е. до и после испытаний двигателя). При этом температура смеси не должна превышать 325 К (52 °С), что имитирует процесс разбавления ОГ при их выбросе из выпускного трубопровода двигателя в атмосферу. Благодаря такой методике на фильтрах оседают все негазообразные вещества, содержащиеся в ОГ. Таким образом, дисперсные частицы – это твердые и жидкие вещества, находящиеся в смеси ОГ с воздухом при вышеуказанной температуре смеси.

Источники наличия в ОГ сажи и тяжелых углеводородов – неполностью сгоревшие топливо и смазочное масла, т.е. причина - несовершенство рабочего процесса дизеля, а также наличие масла на стенках цилиндра в зоне выше верхнего поршневого кольца (где оно подвергается воздействию высоких температур вследствие сгорания топлива). При этом площадь контакта поверхности цилиндра с горячими продуктами сгорания зависит от перемещения поршня. Что касается твердых сульфатов, то они образуются при взаимодействии продуктов сгорания серы, содержащейся в топливе, с барием и кальцием, входящими в состав моющих присадок к маслам. Кроме того, в ОГ присутствуют и другие твердые вещества: продукты износа деталей двигателя, зола и кокс топлива и масла; но их содержание по сравнению с вышеперечисленными составляющими незначительно.

Улучшение экологических показателей двигателей, а также объектов, на которых эти двигатели установлены, базируется на анализе влияния различных факторов (конструктивных и регулировочных) на выброс того или иного ВВ. Сложность решения указанной задачи в отношении PM связана, во-первых, с разнообразием физических и химических показателей их составляющих (в отличие от газообразных ВВ); во-вторых, с различным характером влияния режима работы

двигателя на эти составляющие; в-третьих, с противоположным реагированием на различные мероприятия по сравнению с процессом образования и разложения NO_x ; и в-четвертых, с невозможностью выявления составляющих РМ при проведении оценки их эмиссии стандартизованным гравиметрическим методом. Последнее обстоятельство можно обойти посредством применения, например, хроматографов и масс-спектрометров, но эти способы очень дорогостоящи и длительны. Оперативность же анализа получаемых результатов во многом определяет затраты времени и средств на проведение исследований.

Оценка эмиссии ВВ с ОГ производится на основании испытаний двигателя по т.н. «испытательным циклам» (ИЦ) – совокупности режимов работы, представляющих собой сочетание различных частот вращения коленчатого вала и нагрузок. Наиболее известны испытания по ИЦ, включающим 8 и 13 режимов: первые – для случая применения двигателей на внедорожной самоходной технике (ВДСТ: тракторы, строительно-дорожные, коммунальные и т.п. машины), вторые – для автомобильного транспорта полной массой более 3,5 т. При проведении доводочных исследований двигателя снимают сотни ИЦ (длительность каждого – 1,5...2,0 часа) при измерении выбросов газообразных ВВ. А при оценке эмиссии РМ добавляется время, необходимое для выдержки фильтров до и после испытаний, для предварительных измерений расхода воздуха (для настройки степени разбавления ОГ на каждом режиме, для проведения самого ИЦ, для взвешивания фильтров до и после испытаний. Таким образом, продолжительность однократного испытания по оценке эмиссии РМ с ОГ по стандартизованному ИЦ не менее 8,0 часов. И в итоге будет получена одно значение – интегральное для всего ИЦ. Это не позволит выявить ни режимы работы двигателя, ни составляющие дисперсных частиц, которые вносят основной вклад в выброс РМ. Соответственно, невозможно будет разработать целенаправленные мероприятия по улучшению экологических характеристик двигателя.

Материалы и методы

На основании анализа литературных данных [1...10], а также результатов собственных исследований по оценке степени распада суммарных углеводородов на отдельные группы [11], автором была разработана модель образования дисперсных частиц в потоке ОГ со следующими допущениями [12]:

- дисперсные частицы состоят из трех основных компонентов: сажи C , твердых сульфатов MSO_4 и тяжелых углеводородов C_aH_b ;
- сажесодержание C пропорционально значению дымности N отработавших газов;
- образование твердых сульфатов MSO_4 пропорционально расходу топлива G_r , содержанию серы S в топливе и степени конверсии продуктов сгорания серы;
- доля тяжелых углеводородов C_aH_b в суммарных C_nH_m зависит от режима работы дизеля, который идентифицируется температурой отработавших газов t_r ;
- дифференцирование источников тяжелых углеводородов C_aH_b (от топлива CH_{fuel} и от смазочного масла CH_{oil}) определяется уровнем расхода масла на угар G_m ;

- неопределенность разработанной модели обуславливается содержанием в ОГ золы и кокса топлива, механических примесей в маслах, продуктов износа деталей двигателя, а также принятием 100% конверсии продуктов сгорания серы в твердые сульфаты.

Общий вид зависимости концентрации дисперсных частиц в ОГ от уровня дымности ОГ, массового содержания серы в топливе, концентрации суммарных углеводородов и режима работы двигателя выглядит следующим образом:

$$PM = f_1(N) + f_2(S, G_T) + f_3(CH_{fuel}, CH_{oil}, t_r, G_M).$$

Результаты и обсуждение

В качестве примера ниже приведены результаты испытаний дизеля типа ЗЧН10,5/12,0 номинальной мощностью 36,0 кВт с целью выявления критичных режимов и составляющих PM на итоговую эмиссию PM с ОГ (рисунок 1).

На основании расчетной оценки эмиссии PM по косвенным данным было определено, что основной вклад в эмиссию вносят тяжелые углеводороды от масла CH_{oil} (48,0 % от итогового выброса), влияние твердых сульфатов MSO_4 почти в 2 раза слабее (25,9 %), еще меньший вклад вносят сажа C (16,5%) и тяжелые углеводороды от топлива CH_{fuel} (9,6 %) (рисунок 1, а). Подобная картина указывает на большой расход масла на угар.

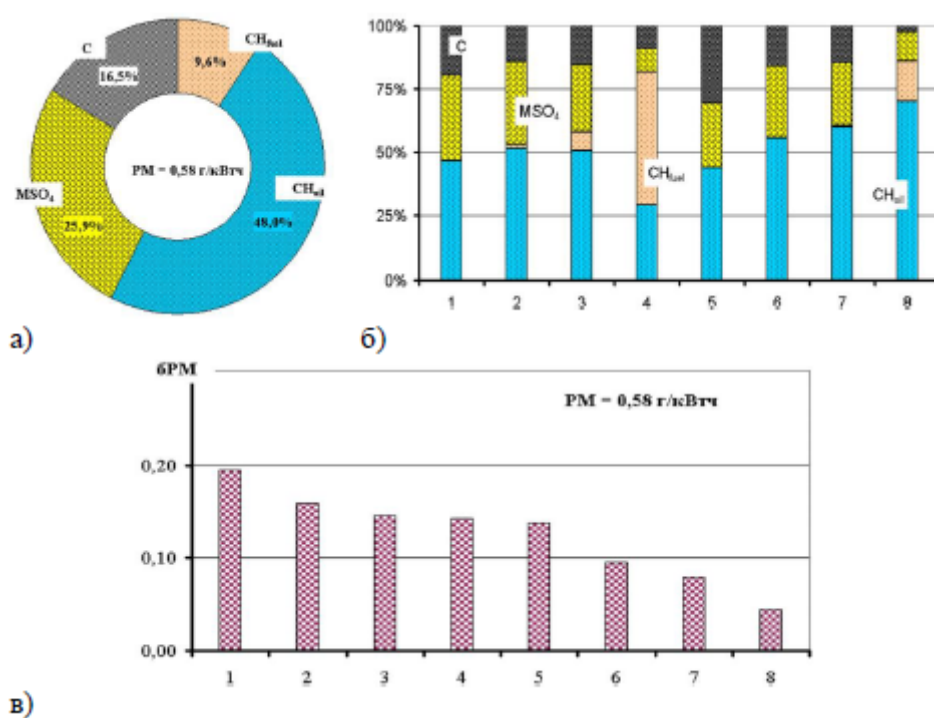


Рисунок 1 – Оценка долевого влияния составляющих PM (а) и (б) и режима работы двигателя (в) на эмиссию дисперсных частиц при испытаниях по 8-ступенчатому циклу Правил ЕЭК ООН № 96-01.

На рисунке 1, в приведены результаты оценки влияния каждого из восьми режимов испытаний ИЦ; характеристика указанного ИЦ представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Ступенчатый испытательный цикл дизелей ВДСТ по Правилам ЕЭК ООН №96-01

№ режима	Номинальный скоростной режим	№ режима	Промежуточный скоростной режим
№1	номинальная мощность $N_{ном}$	№5	наибольший крутящий момент $M_{пр}$
№2	75% $N_{ном}$	№6	75% $M_{пр}$
№3	50% $N_{ном}$	№7	50% $M_{пр}$
№4	10% $N_{ном}$	№8	минимальные обороты холостого хода

Согласно Правилам ЕЭК ООН №96-01, ИЦ включает три скоростных режима: соответствующий номинальной мощности (№ 1...№ 4), промежуточный (№ 5...№ 7) и минимальных оборотов холостого хода (№ 8). Первые два скоростных режима включают в себя несколько различных нагрузочных режимов. При этом промежуточный скоростной режим может совпадать с частотой вращения коленчатого вала, соответствующей максимальному крутящему моменту, в том случае, если последняя лежит в диапазоне от 75 % до 60 % от номинального скоростного режима. В противном случае промежуточная частота принимается равной ближайшему значению границы диапазона (т.е. либо 75 %, либо 60 % от номинальной), в связи с чем режим максимального крутящего момента может учитываться, а может и не учитываться.

Подобное разнообразие режимов работы двигателя предопределяет большой разброс характеристик процессов топливоподачи и газообмена. Все это ведет к неидентичности характера протекания рабочего процесса на каждом из режимов ИЦ, что связано с разными количествами подаваемых топлива и воздушного заряда, давлениями и температурами воздушного заряда (особенно для двигателя с наддувом), продолжительностью и максимальным давлением впрыскиваемого топлива, с большим диапазоном изменения температур продуктов сгорания и т.д. Следствием всего перечисленного будет различное протекание процессов образования и разложения вредных веществ в цилиндре двигателя. Из этого вытекает и необходимость учета особенностей каждого из режимов работы двигателя при разработке мероприятий по снижению выброса ВВ с ОГ.

Согласно полученным данным (см. рис. 1в), наибольшее влияние на итоговый выброс РМ оказал режим номинальной мощности (№ 1) – почти 20 %; режимы № 2...№ 5 оказывают практически одинаковое влияние – по 14...16 % каждый; и только режимы № 6...№ 8 имеют наименьшее влияние – не более 20 % вместе взятые. Эти данные интересны тем, что заметно отличающиеся между собой режимы № 2...№ 5 вносят одинаковый вклад, хотя среди них есть как режим малой нагрузки (№ 4), так и режим наибольшего крутящего момента (№ 5). Подобная картина свидетельствует о постепенном изменении степени влияния каждого

из компонентов в зависимости от режима; соответственно и мероприятия по снижению суммарного выброса РМ должны учитывать эти особенности.

Данные рисунка 1, б дополняют анализ: на режимах №3 и, особенно, №4 (по сравнению с № 2 и № 5) проявляется влияние тяжелых углеводородов от топлива, а на режиме № 5 – режиме наибольшего крутящего момента (относительно № 2...№ 4) – сажи. После устранения проблемы повышенного расхода масла на угар (что отмечено выше), были разработаны мероприятия по снижению эмиссии С и CH_{fuel} с ОГ: несмотря на то, что оба компонента представляют собой продукты неполного сгорания, снижение их эмиссии обеспечивалось различными путями. Что касается твердых сульфатов, то это свидетельствует о неудовлетворительном удельном расходе топлива, поскольку содержание серы в топливе постоянно, то выброс MSO_4 пропорционален расходу топлива.

Следует обратить внимание на то, что в случае отсутствия разбиения эмиссии тяжелых углеводородов по источникам (топливо и масла), весь их выброс был бы отнесен на счет топлива (что характерно для ряда моделей образования РМ в дизелях [1...3]). Хотя вклад неполноты сгорания топлива заметен только на режимах малых нагрузок – № 4 и № 8. Таким образом, учет группового состава углеводородов, содержащихся в отработавших газах позволит обеспечить селективный подбор катализаторов для окислительных нейтрализаторов [13].

Применение разработанной методики оценки эмиссии РМ позволило предложить и реализовать целенаправленные мероприятия по доводке дизеля ЗЧН10,5/12,0, что обеспечило снижение удельного выброса дисперсных частиц с ОГ более чем в 2 раза (с 0,58 до 0,26 г/кВтч). При этом характер влияния отдельных компонентов и режимов на итоговый выброс РМ существенно изменился (рисунок 2).

В первую очередь следует отметить не только снижение долевого влияние тяжелых углеводородов масла на всех режимах ИЦ, но и тяжелых углеводородов топлива на режиме № 4 (с 50 до 10 %). При этом, естественно, возросло относительное влияние эмиссии сажи и, особенно, твердых сульфатов – почти в 2 раза каждый. Однако абсолютные значения эмиссии всех компонентов, кроме выброса MSO_4 (обусловленное увеличением удельного расхода топлива), снизились, что и обеспечило общее улучшение экологических показателей двигателя.

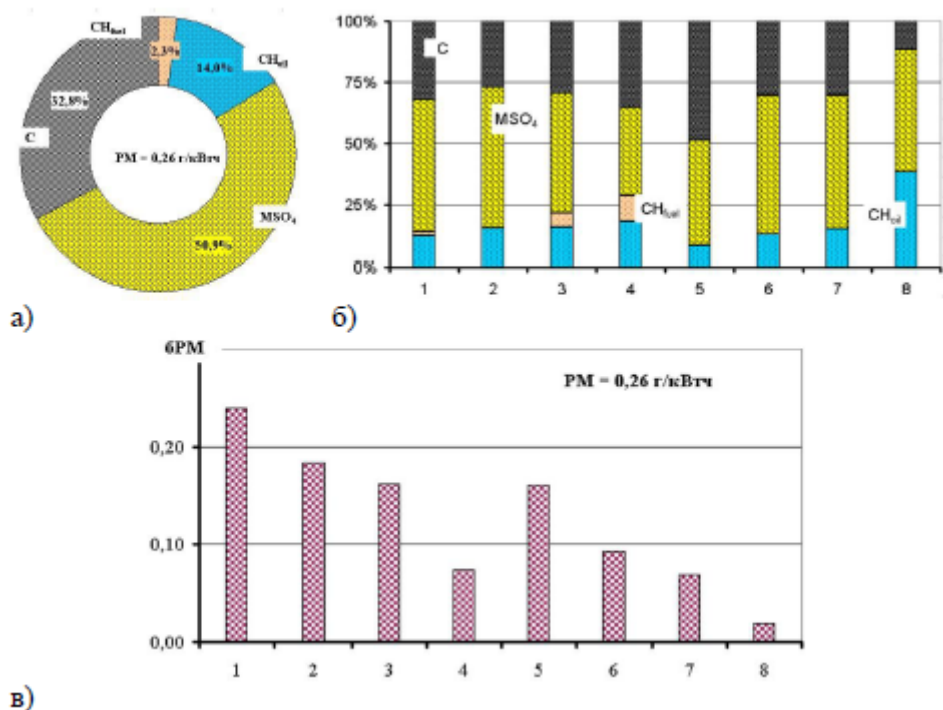


Рисунок 2 – Результат доводки дизеля

Выводы

Разработка мероприятий по снижению эмиссии дисперсных частиц с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания возможна только при наличии информации об основных составляющих дисперсных частиц, а также о степени влияния каждого из режимов испытательного цикла на эмиссию этих составляющих.

Особенности стандартизованного гравиметрического метода измерения удельного выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей не позволяют выявить лимитирующие режимы - режимы испытаний, вносящие основной вклад в итоговый выброс дисперсных частиц, а также не позволяют оценить долевой вклад составляющих дисперсных частиц в интегральное значение их эмиссии;

Относительный состав дисперсных частиц - содержание тяжелых углеводородов, сажи и твердых сульфатов - изменяется в широких пределах: 20...80 %, 10...50 % и 5...30 %, соответственно, и обусловлено характеристиками систем топливоподачи и газообмена, а также организацией смесеобразования в камере сгорания.

Эмиссия твёрдых сульфатов пропорциональна содержанию в топливе серы, а также содержанию бария и кальция в моющих присадках к маслам;

Снижению эмиссии сажи способствует повышение степени гомогенизации топливоздушной смеси в ходе процессов топливоподачи и смешения в камере сгорания;

Учет группового состава углеводородов, содержащихся в отработавших газах позволит обеспечить селективный подбор катализаторов для окислительных нейтрализаторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Басевич, В. Я., Исамухамедов, В. С., Карпов, В. П.** Углеводороды C1 – C3 в выхлопе ДВС // Химическая физика, 1992, т.11, № 11. – С. 1575–1579.

2 **Филипосянц, Т. Р., Иванов, А. Г.** К вопросу об ускоренных методах контроля и доводки дизелей по экологическим параметрам // Экология двигателя и автомобиля: Сб. науч. тр. НАМИ. – М., 1998. – С. 19–25.

3 **Парсаданов, И. В.** Повышение качества дизелей на основе топливно-экологического критерия. – Харьков : Изд. Центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.

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 **Muntean, G. G.** The State of the Science in Diesel Particulate Control // 2005 Diesel Engine Emissions Reduction (DEER) Conference Presentations and Posters.

6 **Greeves, G, Wang, J. T.** Origins of Diesel Particulate Mass Emissions // SAE Transactions, 1981, Vol. 90. – P. 1161–1172.

7 **Heywood, G. B.** Образование загрязняющих веществ и борьба с ними в двигателях с искровым зажиганием. – М. : Машиностроение, 1981. – 407 с.

8 **Alkidas, A. C.** Relationship between smoke measurements and particulate measurements // SAE Paper. – 1984. – № 840412. – 9 p.

9 **Hardenberg, H., Albrecht, H.** Grenzen der Rumassnbestimmung aus optischen Transmessungen // MTZ : Motortechn. Z. – 1987. – № 2. – P. 51–54.

10 **Muntean, G. G.** A theoretical model for the correlation of smoke number to dry particulate concentration in diesel exhaust // SAE paper. – 1999. – № 1999-01-0515. – 9 p.

11 **Кульчицкий, А. Р., Коротнев, А. Г., Петров, В. Л., Честнов, Ю. И.** Эмиссия углеводородов с отработавшими газами дизелей. // Двигателестроение, 2000, № 2. – С. 37–39.

12 **Кульчицкий, А. Р.** Расчетно-экспериментальное определение выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей // Двигателестроение, 2005, № 4. – с. 39–44.

13 **Арендарский, Д. А., Коротнев, А. Г., Немцев, А. Н., Кульчицкий, А. Р., Честнов, Ю. И.** Исследование эффективности стеклотканного катализатора в потоке отработавших газов дизеля // Двигателестроение, 2005, № 2. – с. 43–46.

REFERENCES

- 1 **Basevich, V. Ya., Isamukhamedov, V. S., Karpov, V. P.** Uglevodorody` S1 - S3 v vy`xlope DVS [Hydrocarbons C1 - C3 in the exhaust of internal combustion engines] // *Chemical Physics*, 1992, v.11, № 11. – P. 1575 – 1579.
- 2 **Filiposyants, T. R., Ivanov, A. G.** K voprosu ob uskoreny`x metodax kontrolya i dovodki dizelej po e`kologicheskim parametram [On the issue of accelerated methods of control and refinement of diesel engines according to environmental parameters] // *Ecology of the engine and car : Sat. scientific tr. US.* – Moscow, 1998. – P. 19–25.
- 3 **Parsadanov, I. V.** Povy`shenie kachestva dizelej na osnove toplivno-e`kologicheskogo kriteriya [Improving the quality of diesel engines based on fuel and environmental criteria] – Kharkov : Ed. Center NTU «KhPI», 2003. – 244 p.
- 4 E`kologiya avtomobil`ny`x dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Ecology of automotive internal combustion engines] // V. A. Zvonov, L. S. Zaigraev, V. I. Chernykh, A. V. Kozlov. – Lugansk : VNU im. V. Dalya, 2004. – 268 p.
- 5 **Muntean, G. G.** The State of the Science in Diesel Particulate Control // 2005 Diesel Engine Emissions Reduction (DEER) Conference Presentations and Posters.
- 6 **Greeves, G., Wang, J. T.** [Origins of Diesel Particulate Mass Emissions] // *SAE Transactions*, Vol. 90. – P. 1161–1172, 1981.
- 7 **Heywood, G. B.** Obrazovanie zagryaznyayushhix veshhestv i bor`ba s nimi v dvigatelyax s iskrovy`m zazhiganiem [Formation and control of contaminants in spark ignition engines] – Moscow : Mashinostroenie, 1981. – 407 p.
- 8 **Alkidas A. C.** Relationship between smoke measurements and particulate measurements // *SAE Paper.* – 1984. – № 840412. – 9 P.
- 9 **Hardenberg H., Albrecht H.** Grenzen der Rumassnbestimmung aus optischen Transmessung-en // *MTZ : Motortechn. Z.* – 1987. – № 2. – P. 51-54.
- 10 **Muntean, G. G.** A theoretical model for the correlation of smoke number to dry particulate concentration in diesel exhaust // *SAE paper.* – 1999. – № 1999-01-0515. – 9 P.
- 11 **Kulchitsky, A. R., Korotnev, A. G., Petrov, V. L., Chestnov, Yu. I.** E`missiya uglevodorodov s otrabotavshimi gazami dizelej. [Emission of hydrocarbons with exhaust gases of diesel engines] // *Dvigatolestroyeniye*, 2000, № 2. – P. 37–39.
- 12 **Kulchitsky, A. R.** Raschetno-e`ksperimental`noe opredelenie vy`brosa dispersny`x chasticz s otrabotavshimi gazami dizelej [Calculation and experimental determination of the emission of dispersed particles with exhaust gases of diesel engines] // *Dvigatolestroyeniye*, 2005, №4. – P. 39–44.
- 13 **Arendarsky, D. A., Korotnev, A. G., Nemtsev, A. N., Kulchitsky, A. R., Chestnov, Yu. I.** Issledovanie e`ffektivnosti steklotkannogo katalizatora v potoke otrabotavshix gazov dizelya [Investigation of the efficiency of a glass-woven catalyst in the exhaust gas flow of a diesel engine] // *Dvigatolestroyeniye*, 2005, № 2. – P. 43–46.

Материал поступил в редакцию 06.02.23.

***А. Р. Кульчицкий**

Камешково механикалық зауыты, Ресей Федерациясы, Камешково қ.

Материал 06.02.23 баспаға түсті.

ДИЗЕЛЬДЕ ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ГАЗДАРДЫҢ ДИСПЕРСТІ ІШНАРА ЭМИССИЯСЫН ТӨМЕНДЕТУ

Іштен жанатын қозғалтқыштардың пайдаланылған газдарының (EG) және ауаның қоспасының құрамындағы зиянды дисперсті бөлшектер (Particulate Matter – PM) газ тәрізді зиянды заттардан айырмашылығы агрегаттық күйде болады: қатты және сұйық. Сұйық бөлшектердің болуы жанар-жағармайдың жанбаған көмірсутектерінің бір бөлігінің конденсациялануымен байланысты, олар ауамен сұйылтылған кезде шығатын газдардың температурасының төмендеуіне байланысты. Ал қатты заттардың болуы күйенің ғана емес, қатты сульфаттардың, сондай-ақ олардың конденсациялануына байланысты жанармай мен мұнайдың жанбаған көмірсутектерінің бөлігінің шығарылуымен анықталады. Бұл ретте пайдаланылған газдардағы су ПМ құрамына кірмейді, бұл сынақтарға дейін және одан кейін ПМ тұндырылатын сүзгілерді термостаттау арқылы қамтамасыз етіледі. Алайда, пайдаланылған газдардағы РМ мазмұнын өлшеудің стандартталған (гравиметриялық) әдісі барысында бұл компоненттерді анықтауды қамтамасыз ету мүмкін емес. Сондықтан көбінесе дисперсті бөлшектер деп тек күйе (қатты көміртек) түсініледі. Сонымен қатар, қозғалтқыштың жұмыс режимінің әртүрлі компоненттерге әсері бірдей емес: егер пайдаланылған газдардағы күйе концентрациясы жүктемеге пропорционал болса, онда сұйық компоненттердің болуы төмен жүктеме режимдеріне көбірек тән. Мұндай оңайлатулар РМ шығарындыларын азайту бойынша мақсатты шараларды әзірлеуді қамтамасыз етпейді, өйткені, бір жағынан, олардың барлық негізгі компоненттері, ал екінші жағынан, қозғалтқыштың жұмыс режимінің әсері ескерілмейді.

Кілті сөздер: дизельдік қозғалтқыш, пайдаланылған газдар, дисперсті бөлшектер, күйе, қатты сульфаттар, көмірсутектер.

***A. R. Kulchitskiy**

Kameshkovo Mechanical Plant,
Russian Federation, Kameshkovo.

Material received on 06.02.23

REDUCTION OF THE EMISSION OF DISPERSED PARTICLES WITH DIESEL EXHAUST GASES

Harmful dispersed particles (Particulate Matter – PM) contained in the mixture of exhaust gases of internal combustion engines and air, unlike gaseous harmful substances, are in a different state of aggregation: solid and liquid. The presence of liquid particles is associated with the condensation of part of the unburned hydrocarbons of the fuel and lubricating oil due to a decrease in the temperature of the exhaust gases when they are diluted with air. And the presence of solids is determined by the emission of not only soot, but solid sulfates, as well as part of the unburned hydrocarbons of the fuel and oil due to their condensation. At the same time, the water in the exhaust gases is not included in the composition of the PM, which is ensured by thermostating the filters on which the PM is deposited before and after the tests. However, in the course of a standardized (gravimetric) method for measuring the content of PM in exhaust gases, it is impossible to ensure the identification of these components. Therefore, often only soot (solid carbon) is meant by dispersed particles. In addition, the influence of the engine operating mode on various components is not identical: if the soot concentration in the exhaust gases is proportional to the load, then the presence of liquid components is more typical for low load modes. Such simplifications will not ensure the development of targeted measures to reduce PM emissions, since, on the one hand, all their main components will not be taken into account, and on the other hand, the influence of the engine operating mode.

Keywords: diesel engine, exhaust gases, dispersed particles, soot, solid sulfates, hydrocarbons.

Теруге 06.02.23 ж. жіберілді. Басуға 30.03.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 3998

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz