

уже задел по этому вопросу позволяет надеяться на получение положительных результатов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лефевр А.Х. Процессы в камерах сгорания ГТД. –М.: Мир, 1986. –586с.
2. Сарв, Низами, Чернянски. Влияние размера капель на образование  $\text{NO}_x$  в одномерных системах сжигания монодисперсных топливных смесей // Труды Американского общества инженеров-механиков. Сер.А. –1990. -№7. –С.65-77.
3. Диденко А.А. Исследование качества распыливания топлива и его влияния на характеристики камер сгорания малоразмерных ГТД // Диссертация на соискание уч. степ. канд. техн. наук – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т (СГАУ), 1996. –267с.
4. Диденко А.А., Роголев В.В. К вопросу о влиянии параметров качества двухфазной топливо-воздушной смеси на эмиссионные характеристики камер сгорания ГТД // Вести. СГАУ. Сер.Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып.1; Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 1998. –С.121-136.
5. Лукачев С.В., Ланский А.М., Диденко А.А. Достижения НИЛ-49 (СГАУ) в технике диагностики качества распыливания топлива. // Вести. СГАУ. Сер.Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып.1; Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 1998. – С.246-257.
6. Голубев А.Г., Ягодкин В.Н. Оптические методы измерения дисперсности аэрозолей. /Труды ЦИАМ № 828. –М.: ЦИАМ, 1981. –14с.
7. Байвель Л.П., Логунов А.С. Измерение и контроль дисперсности частиц методом светорассеяния под малыми углами. –М.: Энергия, 1977. –87с.
8. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. –М.: Наука, 1973. –720с.
9. Гудмен Дж. Статистическая оптика. –М.: Мир, 1988. –528с.
10. Применение методов Фурье-оптики. /Под ред. Г.С тарка. –М.: Мир, 1988. –536с.
11. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. –4-е изд. –М.: Наука, 1988. –552с.
12. Численные методы решения некорректных задач. /Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. –М.: Наука, 1990. –232с

УДК 621.452.32

### МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ КАНЦЕРОГЕННОГО УГЛЕВОДОРОДА БЕНЗ(А)ПИРЕНА АВТОМОБИЛЬНЫМИ ДВС

Матвеев С.Г., Орлов М.Ю., Чечет И.В.

*Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара*

Одним из основных источников загрязнения городского воздуха являются двигатели внутреннего сгорания (ДВС), в выхлопных газах которых содержатся окислы азота, окись углерода, несгоревшие углеводороды и ряд

других токсичных веществ. По имеющимся данным, вклад автотранспорта в загрязнение городского воздуха окислами азота составляет 60...75 процентов, окисью углерода до 90 процентов и несгоревшими углеводородами 60...80 процентов [1]. В настоящее время в составе отработавших газов ДВС нормируется содержание окиси углерода, окислов азота, суммарных углеводородов и сажевых частиц. Вместе с тем доля вредности ненормируемых компонентов соизмерима с долей нормируемых и даже может превышать ее. Согласно данным исследований [2], если принять за 100 % суммарную токсичность отработавших газов, то вклад только полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) может достигать до 25 %. Среди ПАУ наиболее сильным и устойчивым к разложению канцерогеном является бенз(а)пирен (БП). Таким образом, проблема канцерогенного загрязнения городской среды выбросами ДВС является актуальной.

В большинстве публикаций по выбросам БП и других канцерогенных ПАУ автомобильными ДВС приводятся экспериментальные данные [2,3,4], полученные в результате отбора проб фильтрационным методом. В этом случае, при количественном определении содержания БП в пробе не учитываются ни масса БП, осаждаемая на внутренних поверхностях пробоотборника и линии отбора, ни возможный проскок паров БП через фильтры [5]. Поэтому, на первом этапе был проведен цикл исследований по набору статистики о выбросе БП серийными автомобильными двигателями с использованием усовершенствованной методики отбора и анализа проб на БП [5].

Определены фактические уровни выброса БП на режимах ездового цикла для нескольких типов ДВС с карбюраторной системой смесеобразования и ДВС с впрыском топлива на впускной клапан. Полученные данные могут быть сформулированы следующим образом:

1. На установившихся режимах (холостой ход, движение с постоянными скоростями 40, 60 и 90 км/час) величина концентрации БП в продуктах сгорания составляет 0,4...0,9 мкг/м<sup>3</sup>; на режимах разгона и торможения автомобиля величина концентрации БП возрастает на порядок, а на режиме холодного запуска двигателя - на два порядка (например, см. табл.1).

2. Изменение коэффициента избытка воздуха в диапазоне 0,85...1,15 на выбросы БП влияет незначительно (опыты проводились на режиме холостого хода за счет регулировки карбюратора винтом «качество» смеси).

3. Удельный выброс БП (мкг/кВт час) для ДВС с впрыском топлива на впускной клапан в 1,5 раза выше, чем у двигателя с карбюраторной системой смесеобразования.

При анализе полученных экспериментальных данных, кроме того, установлено, что при высоких концентрациях БП и низких температурах отработавших газов (случай, характерный для холодного запуска двигателя), БП конденсируется в смолистую аэрозоль, которая адсорбируется на внутренних поверхностях выпускной трубы и глушителя. На последующих режимах работы двигателя происходит десорбция БП в поток отработавших газов, которая протекает тем интенсивнее, чем выше температура и скорость выхлопных газов. Поэтому, в течение длительного времени после холодного запуска двигателя загрязненная система выпуска дает фон БП, существенно превышающий реальные выбросы, обусловленные протеканием рабочего процесса. Таким образом, образование БП, на режиме запуска холодного двигателя, может вносить определяющий вклад в загрязнение окружающей среды и во время остальных режимов городского цикла.

Результаты экспериментов на серийных автомобильных двигателях, а также, имеющийся задел фундаментальных исследований [5] в области изучения процессов образования БП при сжигании углеводородных топлив, позволили сформулировать следующие факторы, определяющие интенсивность процессов синтеза этого канцерогенного углеводорода в камерах сгорания двигателей:

- зоны интенсивного образования БП при диффузионном сжигании топлива находятся в области с местными значениями коэффициента избытка воздуха  $\alpha = 0,1 \dots 0,6$  (при сжигании предварительно подготовленных гомогенных смесей с  $\alpha > 0,6$  образования БП не наблюдается);
- подготовка ТВС (даже за счет частичной гомогенизации смеси) до ее поступления в зону горения позволяет существенно снизить уровень образования БП;
- уровень концентрации БП зависит как от местного состава ТВС, так и от кинетики протекающих химических реакций (скорости химических реакций, приводящих к синтезу БП из продуктов пиролиза исходного топлива, сравнительно медленные и исчисляются миллисекундами);

- основным фактором, усиливающим интенсивность образования БП, является начальная неоднородность ТВС;

-выгорание БП протекает по тем же закономерностям, что и выгорание «легких» углеводородов, то есть в диффузионной области.

На основании этих представлений о механизмах образования и выгорания БП, с учетом полученных данных по двигателями внутреннего сгорания, были сделаны следующие выводы:

1. С учетом того, что современные бензиновые двигатели работают в диапазоне изменения коэффициента избытка воздуха  $\alpha=0,95...1,2$  и оснащены карбюраторами, обеспечивающими качественную подготовку смеси, уровни выброса ими БП на режимах движения с постоянными скоростями сравнительно невысоки.

2. Повышенный уровень выброса БП может иметь место при существенном ухудшении качества подготовки топливовоздушной смеси, ее переобогащении, попадании значительной части топлива на стенку цилиндра, пропусках воспламенения. В эксплуатации перечисленные случаи могут иметь место при неисправностях системы зажигания, при неправильной регулировке системы холостого хода, запуске холодного двигателя, на режимах разгона и торможения автомобиля.

3. Увеличение выброса БП двигателем с впрыском топлива на впускной клапан объясняется ухудшением качества подготовки смеси, вызванным увеличением доли топлива, находящегося в цилиндре в жидкой фазе.

4. В общем случае выброс БП двигателями внутреннего сгорания хорошо коррелирует с выбросами СО и СН.

На втором этапе работы решалась задача разработки методов снижения выбросов БП двигателями внутреннего сгорания, позволяющих при небольших финансовых вложениях и без внесения существенных изменений в конструкцию двигателя добиваться ощутимых результатов в улучшении экологической обстановки. При анализе по критерию затратности и из-за снижения ресурса были отвергнуты такие направления как впрыск воды, работа на обедненных смесях и ряд других. На основании результатов экспериментальных и фундаментальных исследований было высказано предположение, что улучшение экологических характеристик ДВС может быть достигнуто за счет повышения качества смесеобразования и (или) интенсивного подвода воздуха к продуктам сгорания, обеспечивающего их быстрое смешение и вы-

горание БП. Проверка данного предположения была проведена на серийном автомобиле ВАЗ-21053 1994 года выпуска. Улучшение смесеобразования достигалось за счет установки под карбюратор проставки, обеспечивающей испарение топлива нагревательным элементом позисторного типа. Подвод воздуха к продуктам сгорания и их смешение осуществлялись за выпускными клапанами при помощи эжектора. Отбор проб на БП проводился на режимах холодного запуска и холостого хода (см. табл. 1 и 2).

Таблица 1. Выброс БП, СО, СН автомобилем ВАЗ-21053 в серийной комплектации

N	Режим	БП мкг/м <sup>3</sup>	СО г/кг топлива	СН г/кг топлива
1	Холодный запуск	62,0		-
2	Холостой ход	0,37	150,5	38,4

Таблица 2. Выброс БП, СО, СН автомобилем ВАЗ-21053 с испарительной системой

N	Режим	БП мкг/м <sup>3</sup>	СО г/кг топлива	СН г/кг топлива
1.	Холодный запуск	28,2	-	-
2.	Холостой ход	0,08	149,5	28,7

Как видно из представленных данных, установка проставки с испарительной системой приводит к снижению выброса БП в 2...5 раз в зависимости от режима. При этом, уровень выброса СО остается постоянным, а несгоревших углеводородов – даже уменьшается. При подаче дополнительного воздуха к продуктам сгорания на режиме холостого хода содержание БП в продуктах выхлопа уменьшается в 3...5 раз.

Таким образом, представленные результаты работы подтверждают возможность снижения выбросов БП на основе применения методов, не требующих больших материальных вложений и внесения существенных изменений в конструкцию двигателя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чигир Н.А. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени. - М.: Машиностроение, 1981.-408 с.

2. Автомобильный транспорт как источник загрязнения атмосферного воздуха канцерогенными веществами / Платонов П.Б., Баранов Е.М., Курагина Т.И. и др. // Материалы III Всесоюз. конф. по автодорожной медицине. - Горький, 1989. -С.91-93.
3. Тургунов А.М., Пядичев Э.В. Выброс канцерогенных углеводородов автотранспортом и метод определения его экологической опасности на городских перекрестках. В сб. Образование и выброс канцерогенных углеводородов с продуктами сгорания топлив. Тезисы докл. Всесоюз. научн. конф.- Самара, 1991. - С 30-32.
4. Оценка выброса канцерогенных ПАУ с отработавшими газами автомобилей. / Булычев А.ЭЮ, Кутенев В.Ф., Руденко БА и др // Труды НАМИ Сер. Природные ресурсы и окружающая среда. М., 1984. -С.123-128.
5. Лукачев С.В., Матвеев С.Г. Современное состояние вопроса изучения закономерностей образования и выгорания бенз(а)пирена при сжигании углеводородных топлив // Вести. СГАУ. Сер. Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып.1; Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 1998.-С.39-63.

УДК 621.43.056

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИКАМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОЗИЦИИ ТУРБУЛЕНТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ

Мингазов Б.Г.

*Казанский Государственный Технический университет  
им. А.Н. Туполева, г. Казань*

Рабочий процесс в основных камерах сгорания ГТД протекает в условиях существенной неоднородности смеси, как по фазе, так и по составу, т.е. имеет место неоднородное распределение топлива по объему жаровой трубы. Характерной особенностью основных камер сгорания является также то, что в них осуществляется постепенно-ступенчатый подвод вторичного воздуха по длине зоны горения. Необходимость рассредоточенного подвода воздуха связана с тем, что обеспечение эффективного сгорания топлива, в особенности жидкого, подведенного во фронтальном устройстве, возможно только при постепенном смешении топлива с воздухом. Горение первых объемов смеси, образовавшихся в первичной зоне, должно происходить в условиях, благоприятных для воспламенения и сгорания, т.е. при составах, близких к стехиометрическим. Следовательно, по длине камеры сгорания происходит непрерывное смешение испаряющегося топливовоздушного факела со вторичным воздухом, поэтому для описания процесса сгорания топлива в камерах крайне трудно использовать существующие теории, применимые для случая горения однородных смесей.