

6. Аналитическая модель образования окиси азота в камере сгорания газотурбинного двигателя / Р. Робертс, Л. Ацето, Р. Коллрэк и др. // Ракетная техника и космонавтика. – 1972. – №6. – С.131-139.
7. Лукачев С.В., Матвеев С.Г. Современное состояние вопроса изучения закономерностей образования и выгорания бенз(а)пирена при сжигании углеводородных топлив // Вестн. СГАУ. Сер. Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып.1. – Самара: СГАУ, 1998. - С.39-63.
8. Беджер Г.М. Химические основы канцерогенной активности. – М.: Медицина, 1966. – 124с.
9. Лавров Н.В., Стасевич Н.Л., Комина Г.М. О механизме образования бенз(а)пирена // Доклады АН СССР. – 1972. – Т.206, №6. – С.1363-1366.
10. Герасимов Г.Я., Лосев С.А., Макаров В.Н. Моделирование образования токсичных веществ при горении углеводородных топлив в камерах сгорания // Химическая физика процессов горения и взрыва: Материалы XI Симпозиума по горению и взрыву. Том 2. – Черногоровка, 1996. – С.132-134.
11. Матвеев С.Г., Чечет И.В. Обоснование модели синтеза ПАУ на основе карбеного механизма пиролиза ацетилену // Проблемы и перспективы развития двигателестроения в Поволжском регионе: Докл. международной НТК 17-18 сентября 1997 г. – Самара: СГАУ, 1997. – Том 2. – С.218-224.
12. Ахмедов Р.Б., Цирульников Л.М. Технология сжигания горючих газов и жидких топлив. – Л.: Недра, 1984. – 238с.
13. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД/ Пер.с англ. – М.: Мир, 1986. - 566с.
14. Матвеев С.Г., Орлов М.Ю., Чечет И.В. К проблеме выброса бенз(а)пирена при использовании топлив широкого фракционного состава // Вестн. СГАУ. Сер. Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып.1. – Самара: СГАУ, 1998. - С.263-269.

УДК 621.452.32

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

Матвеев С.Г., Орлов М.Ю., Чечет И.В.

*Самарский государственный аэрокосмический университет*

В настоящее время в городской черте основными источниками загрязнения атмосферы являются автомобильный транспорт и теплоэнергетические установки бытового назначения, что объясняется снижением

объема производства крупных промышленных предприятий. Доля автотранспорта по всем видам загрязнения составляет 30%. В тоже время, для крупных городов и агломераций вклад автотранспорта еще значительно – от 50 до 90%. Так, например, неблагоприятная экологическая обстановка в Москве в значительной мере обусловлена ростом числа автомобилей в городе, где за последние 6 лет их количество увеличилось почти в два раза [1].

Наряду с традиционными вредными веществами (окись углерода, несгоревшие углеводороды, сажа, окислы азота), в продуктах сгорания автомобильных двигателей и теплоэнергетических установок содержатся и канцерогенные вещества, индикатором которых служит их представитель – бенз(а)пирен (БП). Эти соединения чрезвычайно опасны для человека даже при их малой концентрации, поскольку обладают свойством накапливаться в организме до критических концентраций (биоаккумуляция) и обладают повышенной способностью вызывать рак и мутацию клеток. В целом, по имеющимся оценкам по городам России средние концентрации бенз(а)пирена выше ПДК более чем в 2 раза [2], что свидетельствует о необходимости разработки мероприятий по снижению выбросов канцерогенов в атмосферу.

Загрязнение атмосферного воздуха в результате работы автомобиля обусловлено тремя основными источниками: системой выпуска отработанных газов, системой смазки и вентиляции картера, системой питания. На долю выхлопных газов приходится наибольшая часть (70–80%) вредных веществ, выделяемых автомобильным двигателем (см. табл.1).

Таблица 1. Состав отработавших газов, % по объему

| Компонент                          | Двигатель     |           |
|------------------------------------|---------------|-----------|
|                                    | карбюраторный | Дизельный |
| Азот                               | 74-77         | 76-78     |
| Пар воды                           | 3-5,5         | 0,5-4     |
| Диоксид углерода                   | 5-12          | 1-10      |
| Оксид углерода                     | 1-10          | 0,01-0,5  |
| Оксиды азота                       | 0-0,8         | 0,001-0,4 |
| Альдегиды                          | 0-0,2         | 0-0,002   |
| Углеводороды                       | 0,2-3         | 0,01-0,1  |
| Сернистый газ                      | 0-0,002       | 0-0,03    |
| Сажа (г/м <sup>3</sup> )           | 0-0,4         | 0,01-1    |
| Бенз(а)пирен (мкг/м <sup>3</sup> ) | 10-20         | До 10     |

В отработанных газах содержится более 200 различных химических соединений, из них около 150 – производные углеводородов, обязанные своим появлением неполному или неравномерному сгоранию топлива в двигателе. К этим веществам относится и БП. В соответствии с проведенными расчетами [1] в Москве за сутки автомобильным транспортом выбрасывается около 3000 т вредных веществ, из которых на долю канцерогенных углеводородов приходится всего 900 кг. Несмотря на такую казалось бы небольшую величину выбросов, по сравнению с другими компонентами, канцерогены несут большую опасность вследствие малых значений предельно допустимых концентраций (для БП -  $10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>).

Автомобилестроительные концерны мира постоянно ищут пути конструктивного совершенствования автомобилей с целью снижения выбросов вредных веществ. Автомобили стали оборудоваться различными приспособлениями для снижения содержания вредных компонентов в отработанных газах, включая микропроцессорную технику и компьютерный контроль за составом горючей смеси и ее поступлением в камеру сгорания, что обеспечивает более полное сгорание топлива и уменьшает содержание углеводородов в выхлопах. Самым значительным усовершенствованием стал (и остается до сих пор) каталитический преобразователь выхлопных газов. Когда отработанные газы проходят через него, химический катализатор, содержащий платиновые гранулы, вызывает окисление углеводородов до углекислого газа и воды, а также «доокисление» угарного газа до углекислого. Ведутся интенсивные работы по созданию каталитических конвертеров, дожигающих несгоревшее топливо.

Все эти работы необходимы, поскольку, как показал анализ специалистов многих стран, в обозримом будущем (в ближайшие 50 лет) никакой замены традиционных карбюраторных и дизельных двигателей в массовом автомобилестроении не предвидится. Электрический автомобильный двигатель, работы по созданию которого ведут крупнейшие автомобилестроительные фирмы мира, прежде всего Японии, не является в данном случае выходом из положения, так как при производстве электроэнергии попутно образуется большое количество вредных веществ, особенно четко это видно на примере ТЭЦ.

Ни одна из существующих концепций конструктивного совершенствования ДВС не предусматривает мер, направленных конкретно на уменьшение выбросов канцерогенов, а кроме того, не рассматривает

влияние вносимых изменений на образование БП. Между тем, как показывают эксперименты, проведенные в СГАУ, конструктивные улучшения в системах карбюраторных и дизельных двигателей, способны сократить выброс загрязняющих веществ в атмосферу в несколько раз.

Анализ статистических данных по применению в мировом автомобилестроении различных систем топливоподачи в модельном ряду 1999 года, показывает, что для бензиновых двигателей с рабочим объемом до 3,0 л использование распределенного впрыска топлива (РВТ) составляет 91,56%, центрального впрыска топлива (ЦВТ) – 0,25%, непосредственного впрыска топлива (НВТ) в цилиндры – 0,97%, карбюраторных систем – 7,22% [3]. На основании этого, закономерен вывод, что этап применения карбюраторов и систем ЦВТ за рубежом практически завершен. В нашей стране также происходит процесс перехода от карбюраторных систем к системам впрыска топлива. Об этом свидетельствует тот факт, что большинство производящихся в настоящее время автомобилей ВАЗ переднеприводного семейства оснащено системами впрыска топлива.

По появившимся в последнее время данным [3], дальнейшее совершенствование ДВС в России может идти в направлении создания плёночно-вихревых систем центрального и распределённого впрыска топлива, позисторных подогревателей топливовоздушной смеси, исследования влияния завихрения свежего заряда на эффективные показатели и токсичность ОГ двигателей, а также в некоторых других направлениях.

В СГАУ отдельные из указанных направлений были выделены для экспериментальной проработки еще в начале 90-х годов [4]. Так, прошла всесторонние испытания проставка с нагревательным элементом позисторного типа, устанавливаемая под карбюратор. Полученные данные свидетельствовали о снижении выброса БП в 2...5 раз в зависимости от режима работы двигателя. Испытуемая проставка представляла из себя "таблетку" нагревательного элемента, установленную в плоскости разъема "карбюратор-двигатель". Работал испаритель следующим образом: крупные капли топлива и его струи из карбюратора на режиме запуска попадали на "таблетку" и испарялись, в результате чего повышалось качество смесеобразования, механизм горения сдвигался от диффузионного к гомогенному и количество образующихся канцерогенов уменьшалось. Вместе с тем оставались нерешенными следующие проблемы. На режимах равномерного движения испаритель мог вызывать обратный эффект, вследствие того, что на испарение капель отводилось меньшее

время, а сам испаритель, перегораживая проходное сечение впускной системы, повышал гидравлическое сопротивление и уменьшал коэффициент наполнения. Кроме того, под испарителем скапливались сконденсированные капли, которые вызывали локальное обогащение смеси и, следовательно, рост выброса бенз(а)пирена. Для решения данной проблемы было решено изменить конструкцию подогревателя. Его нагревательный элемент был размещен на обеих поверхностях дроссельной заслонки. Такое техническое решение позволило улучшить экологические показатели подогревателя на ездовых режимах.

Для дизельных двигателей и искровых ДВС с непосредственным впрыском основная причина образования вредных веществ — наличие в камере сгорания областей с неблагоприятными соотношениями между коэффициентом избытка воздуха и уровнем температур. Например, вблизи форсунок, топлива относительно много при низком уровне температур, как следствие, в дизеле появляются несгоревшие частицы сажи, а в искровом ДВС — несгоревшие углеводороды. В тоже время в другой части цилиндра может быть высокой температура при нехватке топлива. Между этими областями находится зона, где состав смеси близок к стехиометрическому и где образование вредных веществ будет наименьшим.

Для ликвидации заобогащенных топливом областей процесс подачи топлива в камеру сгорания можно растянуть во времени. В автомобильных двигателях это, например, может быть достигнуто за счет многофазности впрыска, когда топливо подается в камеру сгорания в несколько приемов. Для проверки данного предположения была создана модельная установка, позволяющая сжигать жидкое топливо в струе воздуха. Топливо подавалось через форсунку в модель, имитирующую головку камеры сгорания. В варианте А топливо непрерывно впрыскивалось в модель в течение 1с, а в варианте Б многократно, в 10 приемов в течение 15с, при этом расходы топлива и воздуха соотносились таким образом, что средний коэффициент избытка воздуха, рассчитанный из расходов воздуха и топлива оставался неизменным за время в течение которого проводился отбор проб на бенз(а)пирен (5 минут). Оказалось, что в варианте А выбросы бенз(а)пирена на два порядка выше, чем в варианте Б. Конечно, в данном опыте времена пребывания не соответствовали временам, отводящимся на горение в камере сгорания, вследствие чего ко-

личественные характеристики образования БП весьма приблизительны, однако качественно данные этого эксперимента вполне достоверны.

Таким образом, с точки зрения снижения выброса бенз(а)пирена, данный метод достаточно эффективен.

В настоящее время аналогичный подход к подаче топлива (многофазность впрыска) уже применяется в системе "Мультиджет" фирмы "Фиат" для снижения выбросов традиционных токсичных веществ, при этом токсичность выхлопа уменьшается на 30-40% [5]. Полученные в СГАУ данные позволяют высказать предположение, что и по канцерогенным веществам удастся получить аналогичные результаты. Кроме этого при наличии совершенной системы управления впрыском, можно "микровпрыски" делать неодинаковыми по расходам топлива, а это позволит более полно использовать достоинства данного метода.

Согласно экспериментальным данным, выброс БП автомобилем увеличивается на режимах разгона и торможения [4]. Для предотвращения образования БП на этих режимах, вызываемого резким изменением подачи топлива, может быть использована система, аналогичная системе фирмы "Фиат" "Экодрайвер" (Energy Conversion end Driveline Efficient Reengineering-преобразование энергии и экономичный возврат энергии на ходу). Суть данной системы - тандемная комбинация в единый агрегат ДВС и электромотора. Мотор-генератор в этой системе посажен на вал ДВС и обладает достаточной мощностью, чтобы обеспечить самостоятельно движение автомобиля. Во время разгона автомобиля электромотор увеличивает крутящий момент, позволяя ДВС более плавно менять обороты, а затем переходит в режим генератора и подзаряжает аккумуляторы [5]. Поскольку в таком случае отсутствует необходимость в работе ускорительного насоса (карбюраторный двигатель) или в резком увеличении подачи топлива форсункой (двигатель с впрыском), то и не произойдет увеличения локальных зон, заобогащенных топливом, а, следовательно и образования БП.

Общеизвестно, что увеличение энергии искры улучшает воспламенение и позволяет работать на более бедных смесях [7]. Следовательно при использовании такого подхода удастся снизить и выброс бенз(а)пирена, образование которого с обеднением смеси резко замедляется. Для этой цели на автомобиле ВАЗ-2108 обычные свечи были заменены на свечи повышенной энергии искры с кольцевым электродом (так называемые "плазменные" свечи). Плазменная свеча зажигания имеет

форму обычной свечи, нижняя часть которой закрыта плоской пластинкой с небольшим отверстием в центре. Для повышения ресурса электрода изготовлены из вольфрама. Плазменная свеча работает следующим образом: высоковольтный импульс пробивает искровой промежуток распределителя, вспомогательный и плазменный промежутки свечи. Энергия, накопленная конденсатором при помощи разрядного тока, через вспомогательный промежуток в нужный момент подается на центральный электрод. Образующаяся в плазменном промежутке свечи плазма через отверстие в пластине поступает в камеру сгорания. Глубина внедрения потока плазмы зависит от его начальной скорости, поэтому она может регулироваться количеством подведенной энергии, а также конструкцией свечи. Плазменное зажигание применяется в совокупности с регулировкой момента зажигания и карбюратора. После проведения экспериментов, оказалось, что на режиме холодного пуска эти свечи позволяют снизить выброс БП с 50 до 30 мкг/м<sup>3</sup>, а при работе двигателя на холостых оборотах (при регулировке двигателя) с 0,3 мкг/м<sup>3</sup> до уровня фона. Такой результат объясняется тем, что двигатель, оборудованный плазменным зажиганием, позволяет работать на обедненной смеси, состоящей из 19,5 весовых частей воздуха и одной части бензина. Следовательно, даже на уже эксплуатирующихся автомобилях можно ценой минимальных затрат (стоимость комплекта свеч с дополнительным блоком на момент написания статьи составляет менее 10 % от стоимости системы нейтрализации) уменьшить образование БП.

Таблица 2. Выброс БП, СО и СН автомобилем ВАЗ-21083

| №                           | Режим           | БП,<br>мкг/м <sup>3</sup> | СО,<br>г/кг топлива | СН,<br>г/кг топлива |
|-----------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| а) серийная комплектация    |                 |                           |                     |                     |
| 1.                          | Холодный запуск | 50,0                      |                     |                     |
| 2.                          | Холостой ход    | 0,35                      | 138,2               | 25,6                |
| б) свечи повышенной энергии |                 |                           |                     |                     |
| 1.                          | Холодный запуск | 30,2                      |                     |                     |
| 2.                          | Холостой ход    |                           | 136,9               | 16,8                |

Полученные экспериментальным путем результаты позволяют утверждать, что с выбросами канцерогенов можно бороться за счет совершенствования систем питания и зажигания ДВС и все имеющиеся здесь

возможности на сегодняшний день не исчерпаны. Рассмотренные в данной статье методы по своим результатам не уступают применению катализатора, имея значительный выигрыш в стоимостном отношении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчагин В.А., Филоненко Ю.Я. Экологические аспекты автомобильного транспорта. -М.: МНЭПУ, 1997.
2. Изменение состояния окружающей природной среды в Российской Федерации за последние 10 лет. Доклад Первого заместителя Руководителя Росгидромета Ц а т у р о в а Ю.С. <http://www.ecocom.ru/2thCongress/3-7.htm>
3. Гоц А.Н., Драгомиров С.Г., Куделя И.Н. Тезисы VII Международного научно-практического семинара. Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС. Владимирский государственный университет (ВлГУ) <http://www.vpti.vladimir.ru/rus/public/conf/1.htm>.
4. Матвеев С.Г., Орлов М.Ю., Чечет И.В. Методы снижения выбросов канцерогенного углеводорода бенз(а)пирена автомобильными ДВС.// Вестн. СГАУ. Сер.: Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып. 2; Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 1999. – С.125-130.
5. А.В о р о б ь е в – О б у х о в. Вечное движение.//За рулем, 1999, -№12
6. Двигатели внутреннего сгорания Том 2. /Под ред. Л у к а н и н а В.Н.. -М.: Высшая школа, 1995.

УДК 621.438:536.58

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ДОВОДКА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ**

Мингазов Б.Г., Королев А.Н., Меркушин В.К., Явкин В.Б.

*Казанский государственный технический университет,  
ОАО КПП "Авиамотор", г. Казань*

Одним из основных требований при доводке камер сгорания является обеспечение высокой надежности ее работы и снижения выброса  $NO_x$ . Очевидно, для этого необходимо обеспечить такой процесс выгорания топлива, при котором распределение температуры газов по длине жаровой трубы должно иметь минимальные значения местных температур