

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОПЛИВА НА ВЫБРОС БЕНЗ(А)ПИРЕНА АВТОМОБИЛЯМИ

© 2007 С. Г. Матвеев, М. Ю. Орлов, И. В. Чечет

Самарский государственный аэрокосмический университет

В статье проанализировано влияние химсостава топлива на канцерогенность выхлопа двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в свете изменения требований к качеству отечественных топлив, предложены мероприятия по повышению экологии автомобильных бензинов, обеспечивающие сохранение их основных характеристик.

Увеличение количества автомобилей в российских городах ведет не только к пробкам на улицах, но и к росту загрязнения окружающей среды составляющими выбросов двигателей. Одним из самых опасных их компонентов является бенз(а)пирен (БП)-полициклический ароматический углеводород (ПАУ), обладающий канцерогенными и мутагенными свойствами. БП также служит индикатором присутствия других канцерогенных ПАУ в продуктах сгорания углеводородных топлив. В настоящее время автотранспорт, наряду с выбросами предприятий теплоэнергетики, является одним из основных источников загрязнения городов канцерогенами. Так, например в 2005 году среднегодовые концентрации бенз(а)пирена превышали предельно допустимую концентрацию (ПДК) в Усурийске в 4,4 раза, во Владивостоке - в 3,2 раза, а в Находке - в 2,6 раза. Средняя по городам России концентрация бенз(а)пирена превышала допустимую норму в 3 раза. Наибольшие среднемесячные концентрации бенз(а)пирена в 2005 году превышали допустимую санитарную норму в Усурийске в 7 раз, Владивостоке – в 5 раз, а в Находке - в 4,5 раза [1]. Подобное состояние дел свидетельствует о необходимости борьбы с выбросами канцерогенов автомобилями.

В общем случае канцерогенные выбросы автомобилей определяются качеством смесеобразования, соотношением воздух/бензин, организацией процесса горения в камере сгорания, видом используемого топлива и многими другими факторами [2]. При этом одним из особо значимых факторов является химический состав используемого топлива.

В работе [3] было показано, что канцерогенность продуктов сгорания углеводородного топлива при неизменных характеристиках процесса горения в основном определяется содержанием в нем ароматических углеводородов. Кроме того, их содержание в топливе способствует образованию стойких аэрозолей типа “смога” и повышенному нагарообразованию, что нарушает нормальную работу ДВС и снижает его ресурс.

В настоящее время основным топливом, используемым отечественными автомобилями, остается бензин, одним из основных эксплуатационных требований к которому является детонационная стойкость. Как известно, детонационная стойкость бензина зависит от его углеводородного состава. При этом наибольшей детонационной стойкостью обладают ароматические углеводороды, а наименьшей – изопарафиновые углеводороды. Ранее содержание ароматических углеводородов в отечественных товарных бензинах составляло до 55 % (об.). В США, исходя из экологических требований, для бензина содержание бензола ограничивают до 0,8 %, а суммарной ароматики - до 25 %. В Европе в соответствии со стандартом EN 228 для обеспечения норм на выбросы автотранспортом Евро-3 с 2000 года были установлены нормы на неэтилированные бензины по содержанию бензола не более 1,0 %, а ароматических углеводородов – 42 %. Требования к качеству бензинов, обеспечивающих выполнение норм Евро-4 (введены в 2005 году), ограничили содержание ароматических углеводородов до 30 %. Поскольку отечественный ГОСТ Р 51105-97 “Бензины для автомобильного транспорта” предусматрива-

ет доведение требований к отечественным автобензинам до уровня европейских норм (EN 228), то в перспективе в нашей стране будут производиться бензины с меньшим, чем ранее, содержанием ароматических углеводородов.

В соответствии с требованиями ТУ 38.401-58-296-01 к качеству дизельных топлив, максимальное количество полициклических ароматических углеводородов в них ограничено 11 % по объему. В соответствии с [4] в существующих дизтопливах суммарное количество ароматических углеводородов может составлять до 28 % по массе, причем количество моноциклических ароматических углеводородов колеблется от 20 до 22 % (масс). Таким образом, видно, что содержание ароматических углеводородов в современных бензинах даже превышает соответствующую величину для дизельных топлив.

Для оценки влияния содержания в топливе различных ароматических углеводородов на процесс образования бенз(а)пирена было выполнено специальное модельное исследование. Для исключения влияния процессов распыливания, испарения и смесеобразования, эксперименты выполнялись на установке, обеспечивающей сжигание предварительно подготовленной топливо-воздушной смеси. Базовым топливом являлся изооктан, в который вводились добавки арома-

тических углеводородов. Температура на входе в модельную камеру сгорания в экспериментах поддерживалась равной 500 К. Опыты проводились при атмосферном давлении и коэффициенте избытка воздуха (α_0) равном 0,5. Пробы на БП отбирались на оси модельной камеры сгорания и при времени пребывания (t_{II}), соответствующем 10 мс.

На рис. 1 представлены данные о образовании БП при сжигании изооктана с добавками таких веществ, как толуол, бензол и *a*-метилнафталин. Для количественной оценки использовался параметр $EI_{БП}$, характеризующий массу образовавшегося БП, приходящуюся на килограмм сгоревшего топлива. Из рисунка видно, что добавки *a*-метилнафталина, имеющего в своей структуре два бензольных кольца, влияют на образование бенз(а)пирена сильнее, чем добавки бензола и толуола, относящихся к однокольцевой ароматике.

Рис. 2 иллюстрирует опыты по исследованию влияния добавок в изооктан полициклических ароматических углеводородов на примере БП. Оказалось, что в условиях, соответствующих проводимому эксперименту, добавка всего 0,7 мг БП к килограмму топлива увеличивает уровень $EI_{БП}$ с 0,8 до 2,7 мг/кг, т.е. более, чем в три раза.

Для определения влияния молекулярной структуры топлива и содержания водорода в

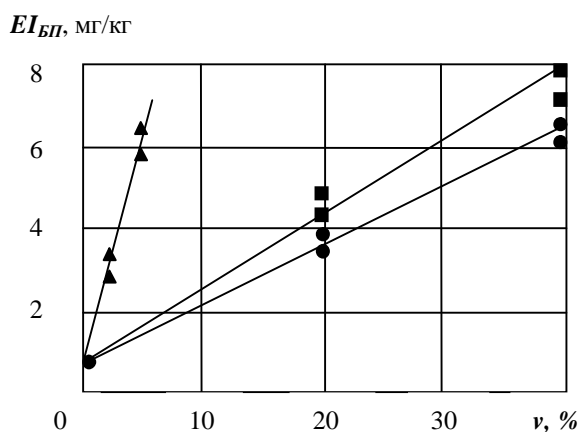


Рис. 1. Зависимость выхода БП от содержания ароматических углеводородов (v) в смеси с изооктаном ($\alpha_0 = 0,5$; $t_{II} = 10$ мс):
 ■ - добавка бензола в изооктан;
 ● - добавка толуола в изооктан;
 ▲ - добавка *a*-метилнафталина в изооктан

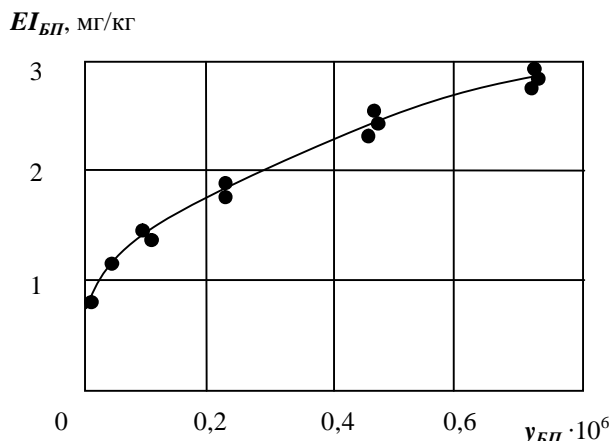


Рис. 2. Зависимость выхода БП от массового содержания БП ($y_{БП}$) в смеси с изооктаном ($\alpha_0 = 0,5$; $t_{II} = 10$ мс)

$EI_{БП}$, мг/кг

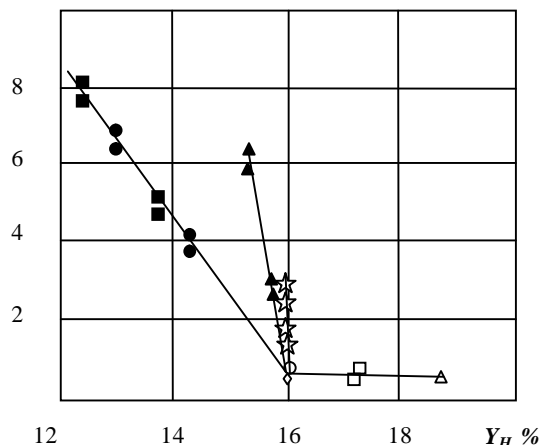


Рис. 3. Зависимость массового выхода БП от содержания водорода в топливе (Y_H) ($a_0 = 0,5$; $t_{II} = 10$ мс):

△ - пропан; □ - н-гексан; ◇ - н-октан;
○ - изооктан; ☆ - (изооктан+БП); ▲ - (изооктан+а-метилнафталина);
■ - (изооктан+бензол); ● - (изооктан+толуол)

нем на интенсивность синтеза БП полученные данные обобщены в виде зависимостей $EI_{БП}$ от процентного массового содержания водорода в топливе (Y_H).

Анализ графика, представленного на рис. 3, свидетельствует о том, что влияние ароматических углеводородов на рост уровня образования бенз(а)пирена усиливается в ряду моноциклические - бициклические - полициклические ароматические углеводороды. В соответствии с этим закономерен вывод, что с точки зрения уменьшения выбросов канцерогенов автомобильными двигателями необходимо уменьшать не суммарное содержание ароматических углеводородов в топливах, а конкретно - содержание многокольцевых ароматических углеводородов. Таким образом, при сохранении детонационной стойкости бензина в определенных пределах

можно будет значительно снизить канцерогенность выхлопа ДВС.

Список литературы

1. <http://www.1rre.ru/news/doc/1301>
2. Лукачев С. В., Матвеев С. Г., Горбатко А. А. Образование и выгорание бенз(а)пирена при сжигании углеводородных топлив. - М.: Машиностроение, 1999. - 152 с.
3. Матвеев С. Г., Орлов М. Ю., Лукачев С. В. Исследование влияния химического состава углеводородных топлив на образование бенз(а)пирена // Химическая физика процессов горения и взрыва: Докл. XI симпозиума по горению и взрыву. - Черноголовка: ИХФЧ РАН, 1996. - Т.2. - С.154-156.
4. Синельников А. Ф., Балабанов В. И. Автомобильные масла, топлива и технические жидкости. - М.: За рулем, 2007. - 160 с.