

УДК 621.43.068.4

КАНЦЕРОГЕННОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

П.М. Канило, профессор, д.т.н., К.В. Костенко, научн. сотр., Н.В. Внукова, доцент, к. геогр.н, С.А. Коверсун, ассистент, ХНАДУ

Аннотация. Автотранспорт является основным потребителем нефтяных топлив и определяющим в экологическом загрязнении атмосферы городов. Наиболее опасными для человека являются совместные воздействия супертоксикантов: оксидов азота, канцерогенных углеводородов и твердых частиц. Показано, что использование современных топлив с повышенным содержанием ароматических углеводородов усугубляет эту экологическую проблему.

Ключевые слова: топлива, отработавшие газы, канцерогенность, бенз(а)пирен, эколого-химические показатели.

КАНЦЕРОГЕННІСТЬ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛІВ

П.М. Канило, профессор, д.т.н., К.В. Костенко, науков. співр., Н.В. Внукова, доцент, к.геогр. н., С.О. Коверсун, асистент, ХНАДУ

Анотація. Автотранспорт є основним споживачем нафтових палив і визначальним в екологічному забрудненні атмосфери міст. Найнебезпечнішими для людини є спільні впливи супертоксикантів: оксидів азоту, канцерогенних вуглеводнів і твердих частинок. Показано, що використання сучасних палив з підвищеним змістом ароматичних вуглеводнів збільшує цю екологічну проблему.

Ключові слова: палива, відпрацьовані газы, канцерогенність, бенз(а)пірен, еколого-хімічні показники.

CARCINOGENICITY OF EXHAUST GASES OF AUTOMOBILES

P. Kanilo, Professor, Doctor of Technical Science, K. Kostenko, research worker, N. Vnukova, Associate Professor, Candidate of Geographical Science, S. Koversun, assistant, KhNAHU

Abstract. Motor transport is the basic consumer of fuel from oil and determining in ecological pollution of atmosphere in urban areas. The most dangerous to the person are joint influences of super toxins: oxides of nitrogen, cancerogenic hydrocarbons and firm particles. It is shown that the use of modern fuel with increased contents of aromatic hydrocarbons aggravates this environmental problem.

Key words: fuel, exhauste gases, carcinogenicity, benzo(a)pyrene, ecological and chemical indicators.

Введение

Из всех глобальных проблем, которые когда либо решало человечество, одними из самых трудных были проблемы производства энергии и транспорта. Во второй половине XX и в начале XXI веков к ним прибавились проблемы экологические (локальные и глобальные). Исчерпание природных энергоресурсов

при условии их неэффективного использования и ухудшения качества окружающей среды (ОС) являются важнейшими составляющими современного топливно-экологического кризиса.

Автотранспорт с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) потребляет наиболее значимую долю природных ресурсов (нефтепро-

дуктов в первую очередь) и одновременно является одним из основных загрязнителей ОС, особенно атмосферы крупных городов. Интегральные экологохимические показатели автотранспортных средств в значительной степени определяются их эксплуатационной топливной экономичностью, параметрической надежностью и качеством используемых топлив, в том числе, уровнями содержания в них ароматических углеводородов, водорода, серы и т.д. Анализ загрязненности атмосферы городов с интенсивным автомобильным движением показал, что наиболее опасными по степени воздействия на организм человека являются две пары супертоксиантов, выбрасываемых с отработавшими газами (ОГ) ДВС: канцерогенные углеводороды (КУ) – мелкодисперсные твердые частицы (ТЧ) и КУ – оксиды азота (NO_x), доля которых при оценке экологохимической опасности автотранспортных средств составляет более 90 %.

Установлено, что мелкодисперсные ТЧ, сорбируя на поверхности КУ, являются их носителями, причем многократно усиливающими (промотирующими) их канцерогенное воздействие на организм человека. В том числе диапазон ТЧ диаметром от 0,1 до 10 мкм, с одной стороны, делает возможным их глубокое проникновение в легкие человека, а, с другой стороны, создает особые трудности при отработке технологии их улавливания из ОГ транспортных средств. Предельно опасными являются производные КУ и NO_x – нитроканцерогенные вещества, которые образуются вследствие явлений синергизма и обладают мутагенными свойствами. В живой клетке указанные вредные вещества (ВВ) приобретают способность генерировать свободные радикалы, провоцируя канцерогенез и мутации.

Установлено также, что использование современных нефтяных моторных топлив с повышенным содержанием ароматических углеводородов (АУ) усугубляет указанную экологохимическую проблему. Известно, что АУ чрезвычайно склонны к образованию КУ и ТЧ. Хотя и не установлен полностью механизм, с помощью которого АУ усиливает их образование, оказывается, что очень важна роль неповрежденного кольца (ароматического ядра) в качестве элемента структуры для быстрого образования КУ и ТЧ. Поэтому существует острая потребность в информации по пиролизу и реакциям окисления АУ

при высоких температурах и по взаимодействию между неароматическим и ароматическими компонентами моторных топлив.

Анализ публикаций

Среди выделенных учеными приоритетной группы КУ (с учетом индекса их канцерогенной агрессивности – ИКА: [пирен (0,001), флуорантен (0,001), хризен (0,01), бенз(а)антрацен (0,01), бенз(а)пирен (1,0), бенз(е)пирен (0,001), бензо(в)флуорантен (0,1), перилен (0,001), индено(1,2,3-с,d)пирен (0,001), бензо(q,h,i)перилен (0,01), дибенз(а,h)антрацен (0,001)] бенз(а)пирен (БП) обладает наибольшим ИКА и для него установлена среднесуточная предельно допустимая концентрация в атмосфере городов $[\text{ПДК}_{\text{БП}}]_{\text{ср}} = 10^{-6} \text{ мг/м}^3$. Для сравнения $[\text{ПДК}_i]_{\text{ср}}$ для CO, CH, NO, NO_2 , ТЧ, SO_2 соответственно: 3,0; 1,5; 0,06; 0,04; 0,05 мг/м^3 [1].

Экспериментально установлена корреляционная зависимость между массовыми уровнями выбросов с ОГ легковых автомобилей БП ($\bar{m}_{\text{БП}}$) и приоритетной группой КУ ($\bar{m}_{\text{КУ}}$) с учетом их ИКА [2]

$$\sum_{i=1}^{12} \bar{m}_{\text{КУ}(i)} \cdot \text{ИКА}_i \cong 1,3 \cdot \bar{m}_{\text{БП}}, \text{ г/км.}$$

Отмеченная закономерность позволяет оценивать суммарную экологохимическую опасность (ЭХО) автомобилей на основе измерения удельных массовых уровней выбросов БП, а также NO, NO_2 и ТЧ с ОГ двигателей, например при испытании автомобилей по европейскому ездовому циклу [3, 4].

Немецкая транспортная ассоциация на протяжении последних лет формирует так называемый экологический рейтинг автомобилей по критериям, отражающим степень вредного воздействия на здоровье человека отдельных составляющих ОГ. По результатам исследований на первое место поставлены канцерогенносодержащие вещества. По мнению медиков, именно их доля в риске возникновения злокачественных опухолей составляет в больших городах ~ 85 %. Федеральное ведомство по охране ОС, разделяя эти оценки, способствовало тому, что правительством ФРГ было сформулирована задача: в ближайшие годы уменьшить, обусловленные автотранспортом, выбросы канцерогенных ингредиентов на 90 % [5]. В США была исс-

ледована мутагенная активность ТЧ, выбрасываемых с ОГ автомобилей, оборудованных дизелями. Она оказалась (в расчете на километр пробега) почти на порядок выше, чем мутагенная активность ТЧ, выбрасываемых с ОГ автомобилей, оборудованных бензиновыми двигателями [6]. Поэтому в США (штат Калифорния) введены ограничения на качество дизельных топлив, в том числе, установлена норма на содержание не более 10 % АУ. Современные стандарты «Евро», в том числе, стали ограничивать содержание бензола и АУ в моторных топливах. В современных бензинах «Premium» содержание АУ ограничено 30 % [7]. Сера в моторных топливах также является вредной примесью, так как практически полностью при горении топлива переходит в оксиды серы (SO_x), отрицательно влияет на надежность и ресурс двигателей, способствует увеличению уровней образования ТЧ и КУ и дисперсности ТЧ. В Европе ограничено массовое содержание серы в дизельных топливах на уровне 0,02 %.

Рядом исследователей также установлено, что по мере увеличения пробега транспортного средства с ДВС их экологохимические показатели существенно ухудшаются. Так, по данным работы [8], с увеличением пробега легкового автомобиля типа ВАЗ до 80 тыс. км его экологохимическая опасность возросла ~ в 7 раз. Очень сильное влияние на уровни образования и выбросы КУ с ОГ автомобилей оказывает техническое состояние ДВС. На рис. 1 приведены обобщенные результаты исследований экологохимических показателей автомобилей по изучению влияния групп неисправностей двигателей на уровни выбросов БП с ОГ [9].

Из представленных данных следует, что неисправности ДВС общего характера приводят к увеличению уровней выбросов БП с ОГ в 2–5 раз, а неисправности систем топливопитания и зажигания горючей смеси, влияющие непосредственно на процесс горения топлива, могут увеличивать уровни выбросов БП с ОГ на порядок и более. Поэтому, при комплексной оценке экологохимической опасности (ЭХО) автомобилей и выбору путей их экологизации, необходимы качественные данные по суммарной канцерогенности ОГ двигателей с учетом длительности их работы и реального технического состояния.

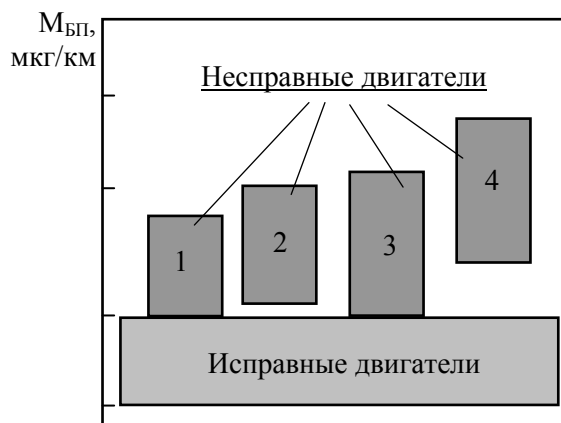


Рис. 1. Уровни выброса бенз(а)пирена с ОГ автомобилей при различных неисправностях бензиновых двигателей: 1 – нарушение регулировки холостого хода, 2 – угар масла, 3 – неисправности системы питания, 4 – неисправности системы зажигания

Для ограничения (ЭХО) автомобилей в различных странах и регионах мира введены в законодательном порядке предельно допустимые уровни выбросов ВВ (CO , CH , NO_x , ТЧ) с ОГ поршневых двигателей, т.е. пока без учета уровней выбросов КУ в ОС. В качестве регламентируемых показателей выбраны усредненные массовые выбросы указанных ВВ, т.е. масса i -го ВВ на единицу пробега транспортного средства (г/км) или на единицу вырабатываемой двигателем энергии за цикл (г/кВт·ч). Допустимые уровни выбросов ВВ с ОГ легковых автомобилей в соответствии с «Евро-5» (с октября 2008 г.): с бензиновыми двигателями ($\bar{m}_{CO} = 1,0$; $\bar{m}_{CH} = 0,1$ $\bar{m}_{NO_x} = 0,06$ $\bar{m}_{ТЧ} = 0,005$ г/км); с дизелями ($\bar{m}_{CO} = 0,50$; $\bar{m}_{CH} = 0,05$ $\bar{m}_{NO_x} = 0,2$ $\bar{m}_{ТЧ} = 0,005$ г/км) [10]. Однако нормирование указанных ВВ лишь частично дает представление об интегральной (ЭХО) транспортных средств, так как наиболее опасные для человека составляющие ОГ двигателей, в том числе КУ и их производные, пока «бесконтрольны», а SO_x нормируется косвенно – через допустимые уровни содержания серы в топливах.

Неполное нормирование ВВ, выбрасываемых с ОГ двигателей, обуславливает необъективность оценки (ЭХО) автотранспортных средств и не дает реального представления об эффективности его конструктивных и технологических усовершенствований, применения альтернативных топлив и т.д.

К альтернативным энергоносителям для автомобильных ДВС необходимо отнести:

- природный газ, как наиболее эффективный энергоноситель на переходный период;
- электроэнергию (электромобили);
- синтетические моторные топлива (СМТ), в первую очередь спиртовые;
- в перспективе водород, который может использоваться как высокоэффективная добавка к горючим смесям, так и в качестве необходимого компонента при производстве СМТ.

Следует отметить, что ресурсных запасов природного газа в Европе и странах СНГ, включая Российскую Федерацию, при современном уровне его потребления, предполагается достаточным примерно на 60 лет и более. К тому же природный газ характеризуется самой низкой энергетической стоимостью (6–9 долл./ГДж), что в 2–3 раза ниже стоимости бензинов, а водород, производимый по современным технологиям, уже практически приближается к энергетической стоимости бензинов.

Цель и постановка задачи

Обосновывается цель исследований – разработка методики комплексной оценки экологохимической опасности транспортных средств оборудованных ДВС с учетом суммарной канцерогенности ОГ. Ставится задача: показать, что использование современных нефтяных топлив, а также – синтетических жидких топлив, получаемых из углей, с повышенным содержанием АУ, приводит к росту суммарной канцерогенности ОГ автомобилей и наметить ряд путей повышения их экобезопасности.

Анализ экологохимических показателей автомобилей при использовании высокоароматизированных топлив

Следует отметить, что ТЧ и КУ обычно образуются в первичной зоне камер сгорания (КС) ДВС близкой к факелу распыленного топлива. На уровни их образования существенное влияние оказывают: качество распыливания топлив и процессы смесеобразования в первичной зоне КС, состав и давление горючей смеси, конструктивные параметры КС и т.д. На интенсивность образования ТЧ и КУ существенное влияние также оказывают два характерных показателя топлива: массовое содержание водорода и АУ.

Характерной особенностью современных жидких моторных топлив, производимых из нефти по новым технологиям, а также – широкофракционных синтетических топлив, получаемых из углей и сланцев, является повышенное содержание АУ при пониженных водородных показателях (H/C , g_{HT}). Массовое содержание АУ в нефтяных моторных топливах (Украина): А-76 (28 %), А-92 (42 %), А-95 (48 %) – обычный режим каталитического риформинга с платиновым катализатором (платформинг), А-98 (74 %) – жесткий режим платформинга [7]. Поэтому использование таких топлив, как будет показано ниже, приводит к существенному росту уровней выбросов КУ (БП), ТЧ, а также NO_x с ОГ двигателей, т.е. к повышению канцерогенно-мутагенной агрессивности ОГ и интегральным показателям (ЭХО) автотранспортных средств.

В табл. 1 [4] и на рис. 2 и 3 приведены усредненные данные по уровням выбросов БП, ТЧ и NO_x с ОГ легковых автомобилей с различными ДВС при их испытании по Европейскому городскому ездовому циклу в зависимости от уровня содержания АУ в моторных топливах.

Таблица 1 Экспериментальные данные

Легковые дизельные автомобили	Параметры топлив: АУ, % / ЦЧ		
	21,2 / 52,6	32,4 / 45,6	56,6 / 25,9
	ВВ: ТЧ, г/км / БП, мкг/км		
1. Oldsmobile Delta 88 diesel	0,23 / 0,30	0,24 / 0,34	1,53 / 16,8
2. Peugeot 505 D	0,18 / 0,29	0,20 / 0,32	0,94 / 24,2

Из представленных данных следует:

- в диапазоне относительно низких уровней содержания АУ в моторных топливах ($g_{AU} \leq 30\%$, см. табл. 1) выбросы ТЧ и КУ с ОГ дизелей изменяются незначительно;
- при увеличении содержания АУ в топливах с 32 до 57 % мас. уровни выбросов ТЧ с ОГ дизелей возросли в 5–6 раз, тогда как уровни выбросов БП – в 50–70 раз, т.е. рост уровней выбросов БП превысил соответственно рост уровней выбросов ТЧ более чем на порядок.

При увеличении содержания АУ в моторных топливах соответственно снижается массовое содержание водорода (g_{HT}).

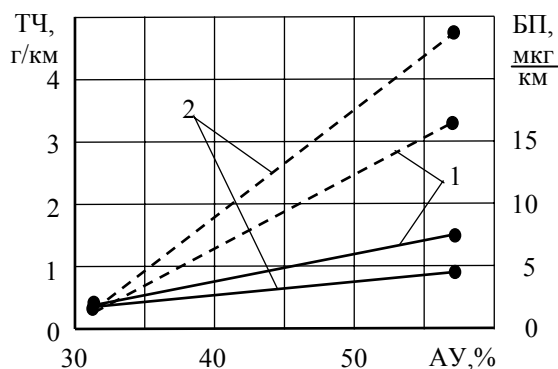


Рис. 2. Зависимость роста уровней выбросов ТЧ (—) и БП (---) от увеличения содержания АУ в дизельном топливе (табл. 1)

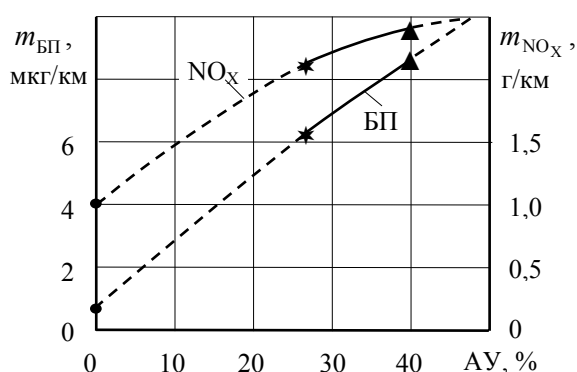


Рис. 3. Влияние содержания АУ в моторных топливах на уровни выбросов NO_x и БП с ОГ легковых автомобилей типа ГАЗ: ● – метан, ★ – бензин А-76, ▲ – бензин АИ-93

Например, при увеличении АУ в моторных топливах с 30 до 60 % мас. содержание водорода снижается ~ на 2 % мас. Таким образом, существует зависимость между уровнями выбросов ТЧ и КУ с ОГ дизелей и двумя характеристиками моторных топлив: массовым содержанием водорода (g_{HT}) и g_{AU} (циклически связанного углерода). Эти две характеристики могут быть эмпирически отражены в едином показателе – приведенном содержании водорода ($g_{\text{HT(пр.)}}$), который позволит согласовать данные по изменениям уровней выбросов ТЧ и КУ с ОГ дизелей при сжигании высокоароматизированных топлив. При этом указанный показатель водорода в топливе при $g_{\text{AU}} = 30\%$ мас. может быть принят за базовый $[g_{\text{HT}}]_{\text{пр.}} = 13,5\%$. Следует особо отметить, что процессы образования КУ (по сравнению с образованием ТЧ) более чувствительны к содержанию АУ и водорода в топливе.

Предлагается критерий, характеризующий изменение уровней приведенного содержания водорода в высокоароматизированном топливе ($g_{\text{AU}} > 30\%$) с учетом чувствительности процессов образования КУ и ТЧ от содержания АУ

$$g_{\text{HT(пр.)}} = [g_{\text{HT}} - (g_{\text{AU}} - 30)^n],$$

где g_i – соответствующие массовые доли в %; $n \approx 0,4 \pm 0,02$.

Одним из путей минимизации уровней выбросов КУ и ТЧ с продуктами сжигания жидких топлив с повышенным содержанием АУ ($g_{\text{AU}} > 30\%$ мас.) является использование водорода (или природного газа) в качестве дополнительного энергоносителя. Добавка водорода к горючей смеси сопровождается увеличением отношения количества атомов водорода к атомам углерода (H/C) и массовым содержанием водорода (g_{HT}) в комбинированном углеводородно-водородном топливе (УВТ). При этом минимально необходимая массовая добавка водорода (g_{H_2}) по отношению к исходному высокоароматизированному углеводородному моторному топливу может быть оценена по следующей зависимости

$$g_{\text{H}_2} = \Delta g_{\text{HT(пр.)}} = \{[g_{\text{HT}}]_{(\text{пр.})} - g_{\text{HT(пр.)}}\} / 100,$$

где g_{H_2} и Δg_{HT} – соответственно в массовых долях, %.

Массовое отношение водорода к углероду в исходном углеводородном топливе и в УВТ может определяться по следующим зависимостям

$$\begin{aligned} (\text{H/C})_{\text{T}} &= (A_{\text{C}} \cdot g_{\text{HT}}) / (A_{\text{H}} \cdot g_{\text{CT}}), \\ (\text{H/C})_{\text{УВТ}} &= (\text{H/C})_{\text{T}} \cdot (1 + g_{\text{H}_2} / g_{\text{HT(пр.)}}), \end{aligned}$$

где A_{C} , A_{H} – соответственно атомная масса углерода и водорода; g_i – соответствующие массовые уровни компонентов, %.

Пример. При использовании жидкого моторного топлива с содержанием АУ ($g_{\text{AU}} \cong 50\%$) и соответственно – водорода ($g_{\text{HT}} \cong 12\%$) – см. рис. 4, приведенный уровень содержания водорода будет соответствовать

$$g_{H_2(пр.)} = [12 - (50 - 30)^{0,4}] = 8,7\%$$

Тогда при этом отношении (Н/С) в исходном топливе будет соответствовать

$$(H/C)_T = (A_C \cdot g_{H_T}) / (A_H \cdot g_{C_T}) = 1,64,$$

а указанное отношение для УВТ будет соответственно (см. рис. 4)

$$(H/C)_{УВТ} = 1,64[1 + 0,048 / 0,12] \cong 2,3.$$

На рис. 4 приведена расчетная номограмма взаимосвязей между водородными показателями g_{H_T} в исходном широкофракционном

топливе с $g_{AУ} > 30\%$ и необходимыми добавками водорода (g_{H_2}) до базовых уровней водорода $[g_{H_T}]_{пр.}$ в УВТ с целью минимизации уровней выбросов КУ и ТЧ с ОГ легковых автомобилей оборудованных поршневыми ДВС.

При использовании природного газа в качестве дополнительного топлива к широкофракционным топливам с $g_{AУ} > 30\%$ указанная добавка может быть определена по зависимости

$$g_{CH_4} = 4 \cdot \{ [g_{H_T}]_{(пр.)} - g_{H_T(пр.)} \} / 100.$$

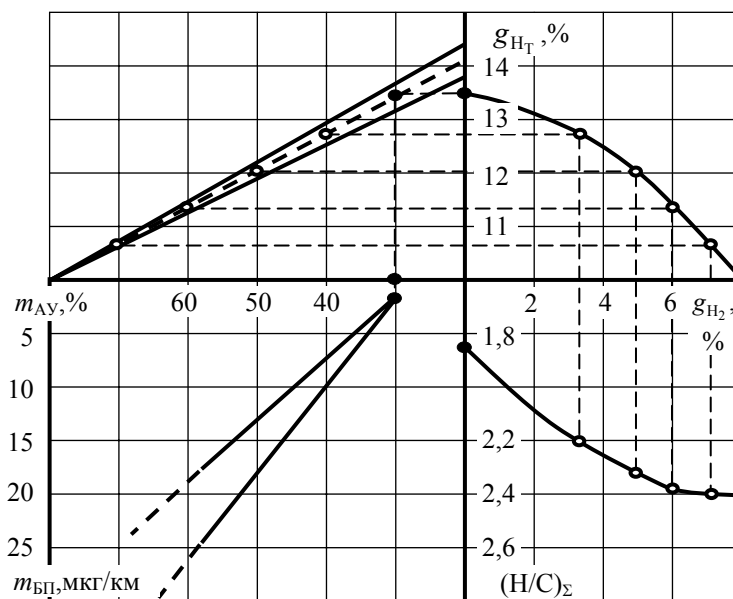


Рис. 4. Изменение водородных показателей в композитных топливах от содержания АУ в исходных топливах и уровней добавки водорода

В табл. 2 приведены экспериментальные данные по результатам исследований ряда легковых автомобилей ГАЗ с ДВС типа ЗМЗ и дизелем ГАЗ-560 по Европейскому городскому ездовому циклу при использовании моторных топлив с различным содержанием водорода (Н/С).

Обобщение (ЭХО) исследуемых легковых автомобилей показало, что доля (СО + СН) не превышает 2 % для исследуемых топлив. Поэтому предложен обобщенный удельный показатель (ЭХО) легковых автомобилей, а также – критерий соответствия указанного показателя международным нормам $K_j = (ЭХО)_j / [ЭХО]_j$ с учетом санитарно-гигиенических нормативов $[ПДК_j]_{сс}$ для токсичных и канцерогенных ингредиентов, а также суммарной канцерогенности ОГ.

Таблица 2 Экологохимические данные

№ п/п	Моторные топлива	Н/С	m_{NOx} , г/км	$m_{БП} \cdot 10^{-6}$, г/км	$ЭХО_j \cdot 10^{-3}$, м ³ /км / K_j
1	Дизельное	1,8	2,2	32	314/15
2	Бензин А-92	1,95	2,4	8	168/27
3	Бензин А-92 +5% H ₂	2,6	0,6	0,8	36/6
4	Природный газ	4	1,0	0,6	55/8
5	Водород	–	0,2	–	3,5/1,0

Примечание. При использовании дизельного топлива $m_{ТЧ} \approx 0,8$ г/км, а при применении других указанных топлив ТЧ в ОГ двигателей практически отсутствовали.

Следует отметить, что для оценки эффекта усиления совместного токсичного и канцерогенно-мутагенного действия рассматриваемых ВВ на человека в условиях городской среды, введены экспертные коэффициенты: $k_{\text{NO}_x} = 3$; $k_{\text{БП}} = 4$; $k_{\text{КУ}} = (4 \times 1,3) = 5,2$; $k_{\text{ТЧ}} = 2$. При этом интегральный экологохимический показатель легкового автомобиля может быть представлен следующим образом:

$$(\text{ЭХО})_j = 10^3 \cdot \sum_{i=1}^4 k_i \frac{m_i}{[\text{ПДК}_i]_{\text{cc}}}$$

Допускаемый по Европейским нормам интегральный экологохимический показатель может быть оценен как

$$[\text{ЭХО}]_j = 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^4 k_i \frac{[m_i]}{[\text{ПДК}_i]_{\text{cc}}}$$

где m_i , $[m_i]$ – соответственно, экспериментально полученные и допускаемые уровни выбросов ВВ с ОГ легковых автомобилей, г/км; $[\text{ПДК}_{\text{NO}}]_{\text{cc}} = 0,06$; $[\text{ПДК}_{\text{NO}_2}]_{\text{cc}} = 0,04$; $[\text{ПДК}_{\text{БП}}]_{\text{cc}} = 10^{-6}$; $[\text{ПДК}_{\text{ТЧ}}]_{\text{cc}} = 0,05$, мг/м³. Нормирование допустимого уровня выбросов БП ($m_{\text{БП}}$) определялось по следующей зависимости:

$$3 \cdot \left(\frac{0,9 \cdot [m_{\text{NO}_x}]}{[\text{ПДК}_{\text{NO}}]_{\text{cc}}} + \frac{0,1 \cdot [m_{\text{NO}_x}]}{[\text{ПДК}_{\text{NO}_2}]_{\text{cc}}} \right) \approx 5,2 \frac{[m_{\text{БП}}]}{[\text{БП}]_{\text{cc}}}$$

Примечание. При использовании дизельного топлива $m_{\text{ТЧ}} \approx 0,8$ г/км, а выбросы ТЧ при использовании других отмеченных топлив практически отсутствовали.

Оценочные данные, с учетом требований Евро-V ($[m_{\text{NO}_x}]_{\text{Д}} = 0,2$; $[m_{\text{NO}_x}]_{\text{Б}} = 0,06$; $([m_{\text{ТЧ}}]_{\text{Б,Д}} = 0,005$, г/км), следующие: $[m_{\text{БП}}]_{\text{Б}} = 6 \cdot 10^3$; $[m_{\text{БП}}]_{\text{Д}} = 21 \cdot 10^3$ м³/км. Здесь индекс «Д» для двигателей работающих на дизельных топливах, а индекс «Б» – при использовании других топлив. Обобщенные экологохимические показатели для исследуемых автомобилей (с учетом требований Евро-V) отмечены ранее в табл. 2. Представленные данные подтверждают мнение, что требования к экологохимическим показателям легковых автомобилей с дизелями, в том числе по допустимым уровням выбросов с ОГ супертоксикантов (NO_x , КУ, ТЧ) занижены более чем в три раза.

В заключение следует отметить:

- предложенная методика интегральной оценки экологохимической опасности (ЭХО)_j автомобилей с учетом суммарной канцерогенности ОГ поршневых ДВС;
- интегральные показатели (ЭХО)_j легковых автомобилей с поршневыми ДВС в основном определяются тремя супертоксикантами: NO_x , КУ и ТЧ;
- интегральные показатели (ЭХО)_j легковых автомобилей с дизелями существенно выше, чем при использовании двигателей с принудительным воспламенением горючих смесей; при этом международные требования к указанным автомобилям с дизелями, в том числе по Евро-V, существенно занижены;
- широкое использование как современных нефтяных, так и синтетических топлив, с повышенным содержанием АУ, резко усугубляет решение проблем экологизации автотранспорта.

Выводы

На основании результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. При использовании в ДВС легковых автомобилей различных углеводородных топлив наиболее вредными ингредиентами, выбрасываемыми с ОГ двигателей, являются NO_x и КУ, которые в условиях городской среды синтезируют предельно опасные для человека нитроканцерогенные вещества, обладающие мутагенными свойствами. При этом мелкодисперсные ТЧ являются носителями КУ и существенно усиливают их агрессивность. Повышенное содержание АУ, характерное для современных нефтяных топлив, а в будущем и синтетических моторных топлив, получаемых из углей, сланцев и т.д., резко усиливает эту закономерность.

2. Для повышения экологохимической безопасности автомобилей с ДВС необходимо:

- максимальное повышение эксплуатационной топливной экономичности двигателей, в том числе поддержание высокой параметрической надежности их работы, что будет способствовать минимизации уровней выбросов особо опасных углеродсодержащих веществ (КУ, ТЧ), возможно даже при некотором росте уровней выбросов NO_x ;

- снижение потребления нефтяных моторных топлив (в Европе, США, Японии намечено

уменьшение их использования до 20 % и более), в том числе путем применения природного газа, синтетических спиртовых топлив, а также водорода – в качестве как основного, так и дополнительного энергоносителя;

– использование обедненных топливно-воздушных смесей с повышенным водородным показателем и пониженным содержанием АУ, а также – серы;

– осуществление электронно-управляемой многофазной подачи топлива непосредственно в цилиндры двигателей, существенное повышение качества смесеобразования, применение современных адаптивных систем регулирования качества рабочих процессов, включая и их экологохимические показатели;

– для снижения выбросов NO_x с ОГ высокоэкономичных автомобилей с ДВС рациональным является использование современных восстановительных нейтрализаторов накопительного типа.

Подготовка и публикация материалов проводилась при содействии гранта УНТЦ «НВЧ-плазмоводневі технології знешкодження екологічно небезпечних канцерогенно-мутагенних сполук».

Литература

1. Канило П.М. Автомобиль и окружающая среда / П.М. Канило, И.С. Бей, А.И. Ровенский. – Харьков : Прапор, 2000. – 304 с.
2. Канило П.М. Эколого-химические показатели автомобильных ДВС с учетом канцерогенности отработавших газов / П.М. Канило, М.В. Шадрин // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – № 2. – С. 154–159.
3. Канило П.М. Интегральные эколого-химические показатели автомобилей с поршневыми двигателями / П.М. Канило, М.В. Сарапина // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. – 2007. – Вып. 20. – С. 68–74.
4. Звонов В.А. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова. – М. : Прима-Пресс-М, 2005. – 132 с.
5. Петров Р.Л. Германия: Экологический рейтинг автомобилей / Р.Л. Петров // Автомобильная промышленность. – 2001. – № 7. – С. 35–39.
6. Твртнев М.И. Чтобы дизель не дымил / М.И. Твртнев // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. – 1997. – № 12. – С. 26–27.
7. Федосеев П.С. Какие нам нужны бензины / П.С. Федосеев // Нефтяное обозрение «Терминал». – 2007. – № 40. – С. 10–13.
8. Коротков М.В. Пробег и экологическая безопасность автомобиля / М.В. Коротков и др. // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 5. – С. 8–10.
9. Кутенев В.Ф. Экологические проблемы автомобильного двигателя и путь оптимального решения их / В.Ф. Кутенев, Ю.Б. Свиридов // Двигателестроение. – 1990. – № 10. – С.55 – 62.
10. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт: навч. посібник / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун. – К. : Арістей, 2006. – 292 с.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 20 июля 2011 г.