*прессорных станциях магистральных газопроводов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2003. – вип. 7(42). – С. 33-35. 2. Марченко А.П. Термодинамические основы повышения топливной экономичности транспортных дизелей за счет утилизации сбросной теплоты: Дисс. ... докт. техн. наук: 05.04.02 / Харьковский политехн. институт. – Харьков, 1994. – 328 с. 3. Смагин Д.Н. Перспективы применения низкокипящих жидкостей для глубокой утилизации теплоты в судовых дизельных энергетических установках // Зб. наук. пр. УДМТУ. – 2003 – №5 (391). – С.66-75. 4. Радченко Н.И. Использование тепла охлаждающей судовые ДВС воды для производства пара теплонасосными установками // Зб. наук. пр. УДМТУ. – 1999. – №6 (366). – С.144-149. 5. Селиверстов В.М. Утилизация тепла в судовых дизельных установках. – Л.: Судостроение, 1973. – 256 с. 6. Оценка эффективности утилизации теплоты судовых главных дизелей теплонаносными паропроизводящими установками /Ю.В. Захаров, А.А. Андреев, И.В. Калиниченко, В.И. Максимов // Зб. наук. пр. НУК. – 2005. – №2 (401). – С.70-79. 7. Андреев А.А., Смагин Д.Н., Калиниченко И.В. Совершенствование схем утилизации низкопотенциальной теплоты судовых дизельных установок на основе низкокипящих жидкостей // Зб. наук. пр. НУК. – 2004. – №4 (397). – С.43- 48. 9. Карпов Г.А. Анализ применения термоэлектрических генераторов на геотермальных источниках // Изучение и использование геотермальных ресурсов в вулканических областях. – М.: Наука, 1979. – С.247-251.*

УДК 621.43.068.4

***П.М. Канило, д-р техн. наук, М.В. Шадрина, асп.***

# ЭКОЛОГОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВС С УЧЕТОМ КАНЦЕРОГЕННОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

**Введение**

Автомобильный транспорт является основным потребителем нефтяных топлив и определяющим в экологохимическом загрязнении ОС, особенно атмосферы больших городов. Анализ уровней загрязненности атмосферы городов с интенсивным автомобильным движением показал, что наиболее опасными (по степени вредности для человека) являются: $NO_X$ , КУ и особенно их производные – нитроканцерогенные вещества, обладающие мутагенными свойствами. При этом основными носителями канцерогенов и нитроканцерогенов, причем существенно усиливающих их агрессивность (промотирующее воздействие), являются мелкодисперсные ТЧ, выбрасываемые с ОГ автомобильных ДВС [1].

Следует особо отметить, что при дизелизации легковых автомобилей проблема экологохимического загрязнения городской среды может усугубляться, так как в дизелях образуются более высокие уровни ТЧ, на которых канцерогенные вещества в основном сорбируются, что усиливает их канцерогенно-мутагенное воздействие на человека. Причем, канцерогенно-мутагенная агрессивность ТЧ зависит от их дисперсности и в наибольшей степени проявляется при условном диаметре частиц в диапазоне 0,2 – 1,0 мкм. В США была исследована мутагенная активность ТЧ, выбрасываемых с ОГ дизелей. Она оказалась (в расчете на километр пробега) в 6 раз выше, чем с бензиновыми двигателями [2].

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. В частности, на первое место она ставит КУ. И не без оснований: по мнению медиков, именно их доля в риске возникновения злокачественных опухолей составляет в больших городах ~ 85 %. Федеральное ведомство по охране ОС, разделяя эти оценки, в значительной мере способствовало тому, что правительством ФРГ была сформулирована задача: в ближайшие годы уменьшить, обусловленные автотранспортом, выбросы канцерогенов на 90 % [3].

**1. Формулирование проблемы**

Необходим комплексный анализ эксплуатационных экологохимических показателей автомобилей с учетом суммарной канцерогенности ОГ, который позволит интегрально оценивать их экоэнергетический уровень, а также – обосновывать научные принципы экологизации транспортных ДВС с учетом гигиенических и экономических факторов.

**2. Постановка задачи исследования**

В ряде работ указывается, что БП образуется одновременно с сажей по сходному механизму и может рассматриваться как своего рода ее аналог. Подтверждается также гипотеза о том, что более высокие уровни образования БП (КУ) в значительной степени определяются повышенным содержанием тяжелых ароматических фракций в используемых бензинах. Экспериментально также определено, что небольшие добавки водорода к обедненным бензовоздушным смесям существенным образом ингибируют процессы образования КУ при одновременном повышении эксплуатационной топливной экономичности автомобиля и снижении уровней выбросов $NO_X$ [1].

Рядом исследований установлено, что по мере увеличения пробега легкового автомобиля его экологохимические показатели существенно ухудшаются. На рис.1 [4] приведены данные по увеличению удельных уровней выброса ВВ с ОГ легковых автомобилей типа ВАЗ-2105 и росту их критерия экологохимической опасности (К) относительно требований Евро-IV.

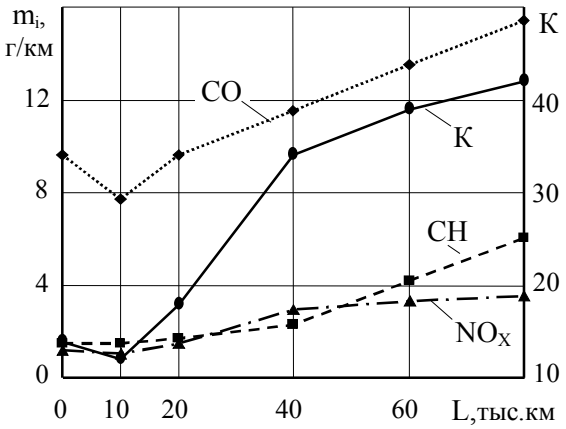


*Рис. 1. Зависимость экологохимических показателей легковых автомобилей от их пробега*

Необычайно сильное влияние на уровни выбросов БП (КУ) с ОГ автомобилей оказывает техническое состояние двигателей, их топливной аппаратуры и систем зажигания. На рис. 2 приведены обобщенные результаты экоисследований множества легковых автомобилей, проведенных в НАМИ, по изучению влияния групп неисправностей ДВС на уровни выбросов БП.

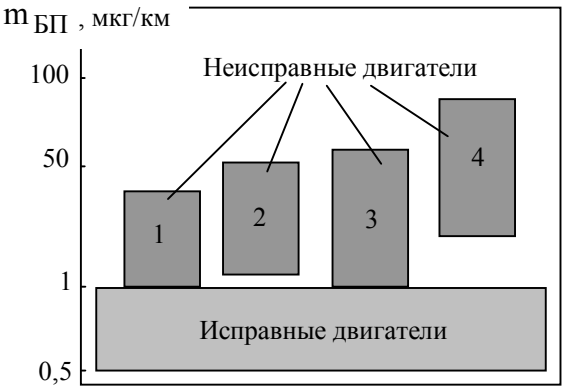


*Рис. 2. Уровни выбросов БП с ОГ автомобилей при различных неисправностях бензиновых ДВС: 1 – нарушение регулировки холостого хода, 2 - угар масла, 3 – неисправности системы топливопитания, 4 – неисправности системы зажигания*

В настоящее время идентифицировано примерно 450 канцерогенных углеводородов, выбрасываемых с ОГ автомобилей, из которых учеными выделена приоритетная группа ПАУ с указанием ИКА: 1 – флуорантен (0,001), 2 – пирен (0,001), 3 – бенз(а)антрацен (0,01), 4 – хризен (0,01), 5 – бенз(в)флуорантен (0,1), 6 – бенз(е)пирен (0,001), 7 – бенз(а)пирен (1,0), 8 – перилен (0,001), 9 – инденопирен (0,001), 10 – дибенз(a,h)антрацен (0,001), 11 – бенз(g,h,i)перилен (0,01), 12 – коронен (0,001). Из представленных данных следует, что наибольшим ИКА обладает БП и для него установлена среднесуточная предельно допустимая концентрация в атмосфере $[ПДК_{БП}]_{сс} = 1 \cdot 10^{-6}$ мг/нм$^3$ [1].

В настоящее время только автотранспорт Украины выбрасывает в ОС более 10 млн. т самых различных ВВ, из которых нормируются только некоторые (CO, CH, $NO_X$), а для автомобилей, оборудованными дизелями, еще и ТЧ (см. табл. 1). По существу нормирование указанных ВВ является надводной частью “айсберга“ экологохимической опасности автомобилей, так как наиболее вредные для человека составляющие ОГ автомобилей, в том числе КУ, $SO_2$ и их производные, пока “бесконтрольны”.

Таблица 1. Международные нормы на уровни выбросов ВВ с ОГ легковых автомобилей

| Нормы, год введения | Тип ДВС | Выбросы, г/км | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $[m_{CO}]$ | $[m_{CH}]$ | $[m_{NO_x}]$ | $[m_{ТЧ}]$ |
| Евро-II, 1996 | Бензиновые | 2,7 | 0,34 | 0,25 | |
| | Дизели | 1,06 | 0,08 | 0,63 | 0,08 |
| Евро-III, 2000 | Бензиновые | 2,3 | 0,20 | 0,15 | |
| | Дизели | 0,64 | 0,06 | 0,50 | 0,05 |
| Евро-IV, 2005 | Бензиновые | 1,0 | 0,10 | 0,08 | |
| | Дизели | 0,50 | 0,05 | 0,25 | 0,025 |

Такое раздельное и неполное нормирование ВВ, выбрасываемых с ОГ автомобильных ДВС, может в недостаточной степени (а часто и ошибочно) оценивать их интегральные экологохимические показатели и приспособленность к ОС, а также – эффективность конструктивных и технологических усовершенствований ДВС, предлагаемых альтернативных видов топлив и т.д.

**3. Изложение основного материала с обоснованием полученных результатов**

При проведении экоисследований легковых автомобилей типа ГАЗ с традиционными бензиновыми карбюраторными ДВС типа ЗМЗ по Европейскому городскому ездовому циклу использовалась полнопоточная фильтрационная система улавливания ТЧ и КУ из ОГ двигателей и была установлена корреляционная зависимость между удельными уровнями выбросов БП ($m_{БП}$) и КУ ($m_{КУ}$) с учетом ИКА всех составляющих приоритетной группы КУ

$$\sum (m_{КУ} \cdot ИКА) = 1{,}3\, m_{БП}, \text{ мкг/км.}$$

Экспериментально также определены зависимости уровней выбросов $NO_X$ и БП с ОГ исследуемых автомобилей от содержания ароматических углеводородов (АУ) в используемых моторных топливах (см. рис. 3). В качестве моторного топлива, не содержащего АУ, принят пропан-бутан.

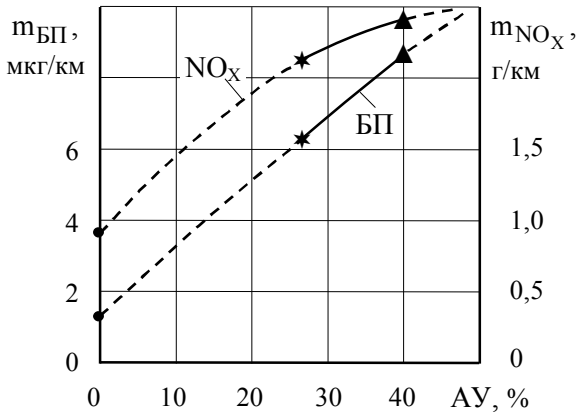


*Рис. 3. Влияние содержания АУ в топливах на уровни выбросов $NO_X$ и БП с ОГ двигателя: ● – пропан-бутан, ✶ – бензин А-76, ▲ – бензин АИ-93*

Из представленных данных следует, что с увеличением доли АУ в бензинах, что характерно для современных технологий их производства, возрастают уровни выбросов как $NO_X$, так и БП (КУ). Причем уровни выбросов БП с ОГ исследуемых автомобилей увеличиваются практически пропорционально уровню содержания АУ (масс.%) в бензинах

$m_{БП} \approx (0{,}2АУ + 0{,}8)$, мкг/км.

В табл. 2 приведены экспериментальные данные по результатам экоисследований ряда легковых автомобилей с ДВС типа ЗМЗ по Европейскому ездовому циклу при использовании различных топлив.

Таблица 2. Экспериментальные данные

| № п/п | Моторные топлива | H/C, % | $m_{CO}$ | $m_{CH}$ | $m_{NO_X}$ | $m_{БП} \cdot 10^6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | г/км | | | |
| 1 | Бензин АИ-93 | 16,3 | 6,7 | 2,3 | 2,4 | 8,9 |
| 2 | Бензин А-76 | 16,8 | 4,9 | 2,4 | 2,2 | 6,3 |
| 3 | Бензин А-76 + 30 % метанола | 21,9 | 5,0 | 1,8 | 1,0 | 0,8 |
| 4 | Пропан-бутан | 19,0 | 1,7 | 2,1 | 0,9 | 1,2 |
| 5 | Метан | 33,3 | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 0,6 |
| 6 | Бензин АИ-93 + 10 % водорода | 26,0 | 1,2 | 0,4 | 0,5 | 0,8 |
| 7 | Метанол | 35,0 | 0,8 | 1,1 | 0,8 | 0,6 |
| 8 | Водород | 100 | – | – | 0,2 | – |

Примечание. Доля $NO_2/NO_X \approx 0{,}1$.

При экоиспытании легкового автомобиля с дизелем ГАЗ-560: $m_{NO_X} \approx 2{,}0$, $m_{БП} \approx 32 \cdot 10^{-6}$, $m_{ТЧ} \approx 0{,}8$, $m_{SO_2} \approx 0{,}6$ г/км, причем доля (КУ + ТЧ) в экологохимической опасности автомобиля составляла ~ 60 %, а $SO_2$ ~ 7,8 % [5].

Ниже, на основе полученных результатов, предлагается удельный интегральный показатель экологохимической опасности $(ЭХО)_j$ легкового автомобиля, а также – критерий соответствия его интегральных экологохимических показателей международным нормам $K_j = (ЭХО)_j / [ЭХО]_j$ с учетом: санитарно-гигиенических нормативов $[ПДК_i]_{cc}$ для токсичных и канцерогенных ингредиентов, а также – суммарной канцерогенности ОГ. Следует отметить, что для оценки эффекта усиления совмещенного канцерогенно-мутагенного действия ряда ВВ на человека в условиях городской среды, вводятся экспертные коэффициенты: $k_{NO_x} = 3$; $k_{БП} = 4$; $k_{КУ} = 4 \cdot 1{,}3 = 5{,}2$. При этом интегральный показатель экологохимической опасности легкового автомобиля (без учета CO и CH – см. табл. 3) представляется следующим образом:

$$ЭХО = 3\left(\frac{0{,}9 m_{NO_X}}{[NO]_{cc}} + \frac{0{,}1 m_{NO_X}}{[NO_2]_{cc}}\right) + 5{,}2\frac{m_{БП}}{[БП]_{cc}}.$$

Допускаемый по Европейским нормам показатель [ЭХО] для легковых автомобилей может быть оценен как:

$$[ЭХО] = 3\left(\frac{0{,}9[m_{NO_X}]}{[NO]_{cc}} + \frac{0{,}1[m_{NO_X}]}{[NO_2]_{cc}}\right) + 5{,}2\frac{[m_{БП}]}{[БП]_{cc}}$$

где: $m_i$, $[m_i]$ – соответственно, экспериментально полученные и допустимые уровни выбросов ВВ с ОГ автомобиля, г/км.

Допустимые уровни выбросов БП $[m_{БП}]_j$ определялись, исходя из нормативных данных по $NO_X$ $[m_{NO_x}]_j$, по следующей зависимости:

$$3\left(\frac{0{,}9[m_{NO_X}]}{[NO]_{cc}} + \frac{0{,}1[m_{NO_X}]}{[NO_2]_{cc}}\right) \approx 5{,}2\frac{[m_{БП}]}{[БП]_{cc}}.$$

Обобщенные экологохимические показатели и долевое участие i-х ВВ в экологохимической опасности исследуемых легковых автомобилей при использовании различных топлив (см. табл. 2) представлены в табл. 3, из которой следует, что доля (CO+CH) в рассматриваемом показателе не превышает для используемых бензинов 2 %, а для остальных топлив – 6 %. Расчетные данные по усредненным граничным значениям $[ЭХО]_j$ и $[m_{БП}]_j$, а также по критериям экологохимической опасности (K) исследуемых легковых автомобилей, приведены в табл. 4.

Таблица 3. Экологохимические показатели исследуемых автомобилей

| Моторные топлива (см.табл.3) | $(ЭХО)_j \cdot 10^{-3}$, $нм^3/км$ | $(ЭХО_i)/(ЭХО)_j$, % | | |
|---|---|---|---|---|
| | | CO+CH | $NO_X$ | БП |
| 1 | 176 | 2 | 72 | 26 |
| 2 | 151 | 2 | 76 | 22 |
| 3 | 62 | 5 | 85 | 10 |
| 4 | 53 | 4 | 88 | 8 |
| 5 | 17 | 6 | 76 | 18 |
| 6 | 15 | 4 | 68 | 28 |
| 7 | 15 | 6 | 67 | 27 |
| 8 | 3 | – | 100 | – |

Таблица 4. Граничные и относительные экологохимические показатели исследуемых легковых автомобилей

| Моторные топлива (см.табл.2) | Евро-II | Евро-III | Евро-IV |
|---|---|---|---|
| | $[ЭХО]\cdot 10^{-3}$, нм$^3$/км / $[m_{БП}]\cdot 10^{6}$, г/км | | |
| | 27 / 2,5 | 17 / 1,5 | 9 / 0,8 |
| | K = (ЭХО)/[ЭХО] | | |
| 1 | 6,5 | 10,4 | 19,6 |
| 2 | 5,6 | 8,9 | 16,8 |
| 3 | 2,3 | 3,6 | 6,9 |
| 4 | 2,0 | 3,1 | 5,9 |
| 5 | 0,6 | 1,0 | 1,9 |
| 6 | 0,6 | 0,9 | 1,7 |
| 7 | 0,6 | 0,9 | 1,7 |
| 8 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |

Предельно допустимые значения уровней выбросов $SO_2$ с ОГ автомобилей, оборудованных дизелями, могут быть определены из соответствующих международных поэтапных требований к содержанию серы в топливе ($[C_S]$: 0,1; 0,05 и 0,02 %) и вычислены с использованием следующей зависимости: $[m_{SO_2}] = 0{,}02[C_S]\cdot g_T$, где $g_T$ – расход топлива на километр пробега автомобиля при его испытании, г/км.

На основании результатов проведенных экоисследований легковых автомобилей, не оборудованных системами нейтрализации ОГ, можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. При использовании в ДВС легковых автомобилей различных углеводородных топлив, наиболее вредными загрязняющими ингредиентами, выбрасываемыми с ОГ двигателей, являются $NO_X$ и КУ, которые в условиях городской езды синтезируют предельно опасные для человека нитроканцерогенные вещества. При этом мелкодисперсные ТЧ (максимальное количество которых содержится в ОГ дизелей) резко усиливают их агрессивность.

2. Выполнение международных норм "Евро-II" и "Евро-III" указанными легковыми автомобилями возможно при использовании: метана, спиртов или водорода в качестве как основного, так и дополнительного энергоносителя, а норм "Евро-IV" – фактически только при использовании водорода в качестве основного энергоносителя.

3. Для снижения экологохимической опасности легковых автомобилей с ДВС необходимо:

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

– существенное повышение качества распыливания топлив и смесеобразования, в том числе осуществлением электронно-управляемой многофазной подачи топлива непосредственно в цилиндры двигателей, применением современных адаптивных систем регулирования экологохимических показателей ДВС;

– поддержание параметрической (эколого-энергетической) надежности работы автомобильных ДВС в условиях эксплуатации;

– внедрение высокоэффективных нейтрализаторов ОГ автомобилей: восстановительных, например накопительного типа, бифункциональных, в том числе плазменных [5], или систем комплексной очистки ОГ дизелей [6].

**Заключение**

На основании проведенных экоисследований легковых автомобилей с ДВС предложены интегральные показатели их экологохимической опасности, с учетом суммарной канцерогенности ОГ, показано влияние вида топлив на интегральные экологохимические показатели легковых автомобилей и их соответствие международным нормам, а также обоснованы рациональные пути экологизации автомобильных ДВС.

***Список литературы:***

*1. Канило П.М, Бей И.С., Ровенский А.И. Автомобиль и окружающая среда. – Харьков: Прапор, 2000. – 304 с. 2.Твертнев М. Чтобы дизель не дымил // Автомоб. трансп. – 1997. – № 12. – С. 26-27*

*.3.Петров Р.Л. Германия: экологический рейтинг автомобилей // Автомоб. пром-сть. – 2001. – № 7. – С. 35-39. 4. Коротков М.В., Бондаренко Е.В. Пробег и экологическая безопасность автомобиля // Автомоб. пром-сть. – 2003. – № 5. – С. 8 –10. 5. Канило П.М., Калениченко А.В., Федосеев П.С. Анализ эколого-химических показателей легковых автомобилей с различными ДВС // Вестник ХНАДУ. – 2004. – Вып. 25. – С. 25-29. 6. Панчишный В.И. Системы комплексной очистки отработавших газов дизелей // Автомоб. пром-сть. – 2004. – № 1. – С. 25 – 27.*

УДК 621.43.-621.2.

***И.И. Тимченко, канд. техн. наук, П.В. Жадан, инж., А.А. Ефремов, инж., Д.И. Тимченко, инж.***

# ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТОПЛИВ КАК МОТОРНЫХ

**Введение**

В мире с каждым годом увеличивается напряженность с нефтью и газом, особенно как моторными топливами для транспортных средств. При нынешних объемах использования запасы нефти истощатся через 30 лет, а природного газа через 70-80 лет [1]. В украине в последние годы добывается около 12% нефти и до 25% природного газа от необходимых [2]. Остроту этой проблеме придают постоянно ужесточающиеся требования к экологической безопасности транспортных установок с двс. Поэтому при выборе перспективных альтернативных моторных топлив следует исходить из этих положений.

**1. Формулирование проблемы**

Биотоплива, в том числе биогаз, являются постоянно восстанавливаемыми источниками энергии, что объясняет повышенный интерес к ним. Отметим, так же, что отходы при получении биогаза являются ценным органическим удобрением, дефицитным для страны, а очистка территорий от отходов жизнедеятельности людей, животных, производств и др. повысит общую экологическую чистоту.

Применение биогаза вместо бензинов при непосредственной замене связано с рядом недостатков, среди которых основными являются: уменьшение до 20-22% мощности ДВС; ухудшение динамики транспортных установок; уменьшение грузоподъемности и пробега на одной заправке и ряд др.

Поэтому выработка научно обоснованных решений по эффективному использованию биогаза в ДВС - основная задача данной работы.

**2. Пути решения проблемы**

**2.1. Физико-химические особенности биогаза как моторного топлива**

Основные причины недостатков, биогаза как моторного топлива, следующие:

- меньшие значения низшей теплоты сгорания, $H_u$, а соответственно и энергетических показателей работы ДВС;

- меньшая скорость сгорания, а из-за этого растягивание его на такте расширения и как результат, уменьшение мощности, $N_e$, кВт и увеличение удельного эффективного расхода топлива, $g_e$, г/кВт-ч;

- меньшее массовое наполнения цилиндров свежим зарядом, $\eta_v$ из-за подогревания его во впускной системе в ДВС традиционных конструкций, что приводит к уменьшению $N_e$ и повышенного $g_e$;

- более высокое значение температуры воспламенения топлива, а отсюда трудности при запуске ДВС;