

П.М. Канило, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, А.П. Поливянчук

ПОВЫШЕНИЕ КАНЦЕРОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Проведен сравнительный анализ Европейских требований к экологической безопасности легковых автомобилей с различными двигателями внутреннего сгорания. Рассмотрены пути и методы повышения эколого-канцерогенной безопасности транспортных двигателей внутреннего сгорания, включая использование альтернативных топлив с повышенным водородным показателем, а также способы существенного повышения топливной экономичности двигателей. Делается вывод о том, что автомобильный транспорт является определяющим загрязнителем атмосферы городов канцерогенно-мутагенными ингредиентами и поэтому в требованиях к экологической безопасности автомобилей с двигателями внутреннего сгорания должна учитываться суммарная канцерогенная составляющая отработавших газов, поступающих в атмосферу.

Введение

Сокращение природных ресурсов, в первую очередь нефтяных, их неэффективное использование, а также ухудшение качества окружающей среды являются важнейшими составляющими углубляющегося топливно-экологического кризиса. Для снижения потребления нефтяных топлив и экологической опасности транспортных средств с ДВС реальное практическое значение имеют существенное повышение их топливной экономичности в условиях эксплуатации и замещение нефтяных топлив (частичное или полное) альтернативными энергоносителями.

Наиболее острой и наименее решаемой среди всех экологических проблем является канцерогенное загрязнение окружающей среды, в первую очередь атмосферы крупных городов. Более 90 % содержащихся в атмосферном воздухе канцерогенных углеводородов (КУ) приходится на источники, обусловленные процессом сгорания углеводородного топлива в цилиндре ДВС, а автотранспорт с ДВС является определяющим техногенным источником загрязнения атмосферы городов канцерогенно-мутагенными ингредиентами (КМИ). Индикатором наличия канцерогенных углеводородов в окружающей среде и в отработавших газах (ОГ) двигателей принят бенз(а)пирен (БП – $C_{20}H_{12}$). В условиях окружающей среды многие КУ, включая БП, совместно с оксидами азота (NO_x) синтезируют нитроканцерогенные соединения, обладающие мутагенными свойствами, т.е. способностью нарушать генетические программы клеток и вызывать в организме человека изменения наследственных свойств. Установлено, что мелкодисперсные твердые частицы (ТЧ), а также пыль, сорбируя КУ, являются не только их носителями, но и многократно усиливают канцерогенно-мутагенное воздействие на организм человека [1].

По мнению медиков, именно КМИ в атмосфере больших городов ~ на 80 % определяют риск

возникновения злокачественных опухолей [2]. Поэтому интерес к проблеме загрязнения окружающей среды КМИ во всем мире растет, но, к сожалению, еще быстрее распространяется само присутствие этих соединений в экосистемах. Стремительное увеличение количества автомобилей, их дизелизация, расширение использования высокоароматизированных нефтяных топлив и увеличение доли использования устаревших автомобилей, усугубляет решение отмеченных проблемы [1–6].

Повышение требований к выбросам токсичных веществ (CO , CH , NO_x , $ТЧ$) с ОГ автомобилей (Евро-3, 2005 г.; Евро-5, 2008 г.; Евро-6, 2016 г.) является полумерой по снижению экокканцерогенной опасности автомобилей, т.к. наиболее опасные супертоксиканты, в том числе канцерогенные углеводороды и их производные, пока «бесконтрольны». Раздельное и неполное нормирование экологических показателей ОГ двигателей дает необъективную оценку их интегральной канцерогенной опасности (ЭКО), а также эффективности применения конструктивных и технологических усовершенствований ДВС, использования альтернативных топлив. В связи с этим необходимо оценивать экологическую опасность с учетом суммарной ЭКО отработавших газов автомобильных двигателей, характеризуемой двумя парами супертоксикантов: ($NO_x + КУ$) и ($ТЧ + КУ$) [1].

В настоящее время в городах с развитым автомобильным транспортом, среднесуточные концентрации БП в атмосфере превышают на порядок указанные концентрации БП в сельских районах. В местах же интенсивного движения автотранспорта концентрация БП в воздухе превышает допустимый уровень на два порядка и более [1, 2]. Такой уровень роста загрязнения среды КМИ может привести к тому, что затраты на излечение "больного человечества" и оздоровление природы могут стать самой крупной статьей расходов экономики мира. Поэтому снижение потребления нефтяных топлив

и уровней выбросов КМИ в ОС, в том числе с ОГ ДВС транспортных средств, и их обезвреживание являются одной из важнейших проблем современности.

Определенные шаги в решении этой проблемы за рубежом уже сделаны. Так, правительством Германии сформулирована задача в ближайшие несколько лет уменьшить выбросы КУ автомобильными двигателями на 90 %, проект использования синтетических дизельных топлив в целях снижения выбросов КУ и ТЧ транспортными средствами с дизелями уже реализуется в Нидерландах и ряде штатов США [2].

Цель и постановка задачи

В данной работе ставится цель обосновать необходимость определения суммарной канцерогенной опасности ОГ автомобильных ДВС двумя парами супертоксикантов (NO_x + КУ) и (ТЧ + КУ) и определить пути повышения канцерогенной безопасности транспортных двигателей внутреннего сгорания.

Оценка канцерогенной опасности ОГ автомобильных двигателей

Нормы на выбросы вредных веществ с ОГ двигателей легковых автомобилей приведены в табл. 1. Из данных, приведенных в таблице, следует, что требования к экологической безопасности легковых автомобилей с дизелями менее строгие, чем для автомобилей с бензиновыми двигателями, но в нормах Евро-6 эта разница практически отсутствует.

Таблица 1. Европейские нормы на уровни токсичных выбросов с ОГ двигателей легковых автомобилей

Нормы	Тип ДВС	Выбросы ВВ с ОГ, г/км			
		СО	СН	NO _x	ТЧ
Евро-3, 2000 г.	Б	2,3	0,20	0,15	
	Д	0,64	0,06	0,50	0,05
Евро-5, 2008 г.	Б	1,0	0,10	0,06	0,005
	Д	0,50	–	0,2	0,005
Евро-6, 2015 г.	Б	1,0	0,10	0,06	0,005
	Д	0,50	–	0,08	0,005

Примечание. Б – бензиновые двигатели, Д – дизельные двигатели.

Удельные выбросы токсичных и канцерогенных ингредиентов с ОГ двигателей легковых автомобилей приведены в табл. 2. В таблице использованы следующие обозначения: 1 – бензиновый ДВС типа ЗМЗ-402.10 (бензин А-92, И); 2 – ДВС типа ЗМЗ-4021.10 (бензин А-76, И); 3 – ДВС типа ЗМЗ-4022.10 (Ф-Ф); 4 – ДВС типа ЗМЗ-4027.10 (пропан-бутан, И); 5 – ДВС типа ЗМЗ-4021.10

(ОСНОГ, И) 6 – ДВС типа ЗМЗ-4022.10 (Ф-Ф, ОСНОГ); 7 – ДВС типа ЗМЗ-4027.10 (пропан-бутан, И, ОСНОГ); 8 – ДВС типа ЗМЗ-4021.10 (И, БСНОГ); 9 – ДВС типа ЗМЗ-405.22 (распределенный впрыск бензина А-95, БСНОГ); 10 – дизель типа ГАЗ-560; И, Ф-Ф – соответственно искровое и форкамерно-факельное зажигание горючей смеси; ОСНОГ, БСНОГ – соответственно окислительная и бифункциональная системы каталитической нейтрализации ОГ двигателей.

Таблица 2. Экспериментальные данные по определению удельных выбросов токсичных и канцерогенных ингредиентов с ОГ двигателей легковых автомобилей

Тип ДВС	<i>m'</i> _{СО}	<i>m'</i> _{СН}	<i>m'</i> _{NO_x}	<i>m'</i> _{ТЧ}	<i>m'</i> _{БП} ·10 ⁶
	г/км				
1	6,7	2,3	2,4	0,01	8,9
2	4,9	2,4	2,2	0,005	6,3
3	2,6	1,9	1,2	–	1,0
4	1,7	2,1	0,9	–	0,8
5	0,8	1,0	2,3	–	0,3
6	0,5	0,4	0,7	–	0,2
7	0,2	0,6	1,0	–	0,2
8	0,3	0,2	0,1	–	0,7
9	2,7	0,34	0,25	–	0,7
10	1,7	0,3	2,0	0,8	32

Примечание. Доля NO/NO_x ≈ 0,9. В ОГ ДВС типа (3-9) ТЧ практически отсутствовали.

Удельные уровни токсичных выбросов с ОГ автомобильных двигателей, приведенные в табл. 2, определялись по следующей зависимости:

$$m'_{ij} = \frac{\bar{m}_{ij} + \Delta m_{ij}}{4,06}, \text{ г/км,}$$

где $\bar{m}_{ij}, \Delta m_{ij}$ – соответственно, математическое ожидание (среднее арифметическое значение) и суммарный доверительный интервал определения уровней выброса ВВ; 4,06 – пробег автомобиля за Европейский городской ездовой цикл, км.

Корреляционная зависимость между удельными уровнями выбросов с ОГ двигателей БП и приоритетной группой канцерогенных углеводородов (КУ) с учетом индекса их канцерогенной агрессивности (ИКА) [1] имеет вид:

$$\sum (m'_{КУ} \cdot \text{ИКА}) = 1,3 \cdot m'_{БП}, \text{ г/км.}$$

В соответствии с приведенными в табл. 2 данными можно отметить, что удельные уровни выбросов БП и ТЧ с ОГ автомобилей с дизелями существенно выше, чем при использовании других типов ДВС и, особенно, при оборудовании этих

двигателей системами каталитической нейтрализации ОГ.

Значительное влияние на выбросы БП и ТЧ с ОГ двигателей оказывает вид топлива, в том числе его структура и водородный показатель, включая содержание АУ и ПАУ. В современных нефтяных топливах существенно увеличена доля АУ и ПАУ, поэтому оценка с учетом выбросов БП и ТЧ с отработавшими газами транспортных двигателей предельно актуальна. В табл. 3 приведены усредненные данные по уровням выбросов ТЧ и БП с отработавшими газами легковых автомобилей с дизелями при их испытании по Европейскому городскому ездовому циклу в зависимости от уровня содержания ароматических углеводородов в дизельных топливах.

Таблица 3. Экспериментальные данные легковых автомобилей с дизелями при их испытании по Европейскому городскому ездовому циклу

Легковые автомобили с дизелями	содержание АУ в топливах, %		
	21,2	32,4	56,6
	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

Представленные данные указывают, что использование топлив с повышенным содержанием АУ приводит к существенному росту выбросов ТЧ и БП, т.е. – к повышению канцерогенно-мутагенной агрессивности ОГ дизелей и их (ЭКО)_j.

Следовательно, применение в дизелях моторных топлив с повышенным содержанием АУ усугубляет решение экологической проблемы, связанной со снижением загрязнения окружающей среды.

Обобщенный анализ ЭКО ДВС легковых автомобилей

Многочисленными исследованиями установлено, что (ЭКО)_j отработавших газов ДВС транспортных средств на 95 % и более характеризуется уровнями выбросов с ОГ двигателей: NO_x, ТЧ и КУ. Экологическая составляющая СО и СН в (ЭКО)_j ОГ ДВС не превышает ~3 %. Для обобщения ранее представленных экспериментальных данных (табл. 2) предложены удельный интегральный показатель (ЭКО)_j для ОГ ДВС легковых автомобилей, интегральный показатель применительно к европейским международным нормам [ЭКО]_j и критерий K_j соответствия удельного интегрального показателя эоканцерогенной опасности ОГ двигателя легкового автомобиля международным нормам:

$$(ЭКО)_j = \left\{ \sum_{i=1}^n k_i \frac{m'_{ij}}{[ПДК_i]_{cc}} \right\}, \quad (1)$$

$$[ЭКО]_j = \left\{ \sum_{i=1}^n k_i \frac{[m'_i]_j}{[ПДК_i]_{cc}} \right\}, \quad (2)$$

$$K_j = (ЭКО)_j / [ЭКО]_j, \quad (3)$$

где [ПДК]_{i,cc} – среднесуточные предельно допустимые концентрации регламентируемых токсичных и канцерогенных ингредиентов в атмосферном воздухе городов: [NO] = 0,06; [NO₂] = 0,04; [ТЧ] = 0,05; [БП] = 1·10⁻⁶, мг/нм³; n – количество ингредиентов в ОГ ДВС автомобилей, которые учитывают при оценке ЭКО; m'_i, [m'_i] – соответственно, удельные реальные и допускаемые уровни выбросов i-х ВВ с ОГ двигателей легковых автомобилей при их испытании по Европейскому городскому ездовому циклу (m'_i: NO, NO₂, ТЧ), а также – БП, г/км; k_i – безразмерные показатели усиления совмещенного действия особо опасных токсичных и канцерогенных веществ на человека в условиях городской среды с учетом явлений синергизма (образование нитроканцерогенов и мутагенов, промотирование мелкодисперсными ТЧ канцерогенной агрессивности ОГ, доокисление NO в NO₂, повышение кислотности среды и т.д.).

В табл. 4, приведены данные по оценке факторных коэффициентов усиления совместного вредного воздействия ряда токсичных и канцерогенных ингредиентов на человека в условиях городской езды.

Таблица 4. Значение факторных коэффициентов при определении степени усиления вредного воздействия ряда ВВ, выбрасываемых с ОГ автомобильных двигателей

ВВ	Коэффициенты			
	α _i	β _i	δ _i	k _i
СО + СН	1	1	1	1
NO _x	1	2	1,5	3
БП	2	2	1	4
ТЧ	2	1	1,2	2,4

В таблице: k_i = α_iβ_iδ_i; α_i – поправка, учитывающая вероятность накопления газообразной примеси и аэрозолей в компонентах окружающей среды и в продуктах питания, а также поступление газообразных примесей и аэрозолей в организм человека ингаляционным путем; β_i – поправка на вероятность образования при участии исходных газообразных примесей и аэрозолей, выбрасываемых в атмосферу, других загрязнителей (явление синергизма) более опасных, чем исходные; δ_i – поправка, учитывающая действие на различные реци-

пиенты, помимо человека. На основе ранее изложенных корреляционных зависимостей ($\Sigma KY_{(OГ)} = 1,3 \cdot m_{БП}$) показатель $k_{KY} = 1,3 \cdot k_{БП} = 5,2$.

Предложенный показатель $(ЭКО)_j$ характеризует удельную кратность разбавления ОГ автомобильного двигателя чистым воздухом (удельный нормообмен, nm^3/km) до нормируемого уровня $[ЭКО]_j$. При этом допустимые уровни БП $[m'_{БП}]$ с ОГ определяются из граничных условий для нормируемых уровней NO_x $[m'_{NO_x}]$ (исходя из условия, что в ОГ автомобильного двигателя массовая доля $NO \sim 90\%$, а $NO_2 \sim 10\%$) по следующей зависимости:

$$3 \cdot \left(\frac{0,9[m'_{NO_x}]_j}{[NO]_{cc}} + \frac{0,1[m'_{NO_x}]_j}{[NO_2]_{cc}} \right) \approx 5,2 \frac{[m'_{БП}]_j}{[БП]_{cc}} \quad (4)$$

В данной формуле безразмерный показатель усиления совмещенного действия особо опасных токсичных и канцерогенных веществ k_i для NO_x принят равным 3 (см. табл. 4), а для КУ – 5,2. В соответствии с данными, приведенными в табл. 1 и 2, и при использовании зависимости (4) были рассчитаны условно допустимые уровни $[m'_{БП}]$, а также – граничные интегральные показатели $[ЭКО]_j$ для легковых автомобилей с бензиновыми (Б) и дизельными (Д) двигателями применительно к международным нормам: Евро-3, Евро-5 и Евро-6 (табл. 5).

Таблица 5. Расчетные значения граничных показателей ЭКО двигателей легковых автомобилей

Тип ДВС	$[m'_{БП}] \cdot 10^6, \text{ г/км} / [ЭКО]_j \cdot 10^{-3}, \text{ nm}^3/\text{км}$		
	Евро-3	Евро-5	Евро-6
Б	1,4 / 15	0,6 / 6,4	0,6 / 6,4
Д	4,8 / 52	1,8 / 20	0,8 / 10,6

На основании экспериментальных исследований легкового автомобиля типа ГАЗ с двигателем ЗМЗ-402 на стенде с беговыми барабанами по Европейскому городскому ездовому циклу (Евро-5) и при использовании бензина А-92 ($AУ \approx 40\%$) установлено: $m_{NO_x} = 2,4$; $m_{БП} = 8,9 \cdot 10^{-6}$; $m_{ТЧ} \approx 0,01$ г/км; $m_{NO_x} / [m_{NO_x}] \approx 40$; $m_{ТЧ} / [m_{ТЧ}] \approx 2$; $m_{БП} / [m_{БП}] \approx 14,8$. При этом интегральные показатели указанного автомобиля соответствовали: $(ЭКО)_Б \approx 170$, $[ЭКО]_Б \approx 6$, а $K_Б = (ЭКО)_Б / [ЭКО]_Б \approx 28$, т.е. нормы Евро-5 превышены в 28 раз. Экспериментальные исследования автомобиля типа ГАЗ с дизелем ГАЗ-560 (дизельное топливо, $AУ \approx 45\%$) показали: $m_{NO_x} = 2,0$; $m_{БП} = 32 \cdot 10^{-6}$; $m_{ТЧ} = 0,8$ г/км; $m_{NO_x} / [m_{NO_x}] \approx 10$; $m_{БП} / [m_{БП}] \approx 18$; $m_{ТЧ} / [m_{ТЧ}] \approx 160$; $[ЭКО]_Д \approx 300$; $K_Д \approx 14$. Таким образом, при установке на легковой автомобиль ГАЗ дизеля в сравнении с бензиновым

двигателем загрязнение окружающей среды возрастает: по твердыми частицами \sim в 80 раз; канцерогенным составляющим \sim в 4 раза (при практически равных уровнях выбросов NO_x).

Вместе с тем, допустимые уровни выбросов NO_x и БП с ОГ дизелей легковых автомобилей, а, соответственно, и интегральный показатель $[ЭКО]_Д$, существенно ниже, чем бензиновых ДВС. Поэтому оценивать экологическую, а точнее канцерогенно-мутагенную безопасность, ДВС автомобилей необходимо не отдельно (по нормируемым уровням выбросов с ОГ токсичных ингредиентов), а интегрально (с учетом суммарной канцерогенной опасности ОГ двигателей). На рис. 1 представлены данные (в соответствии с Евро-3, Евро-5 и Евро-6, табл. 1) по допускаемым уровням выбросов NO_x и ТЧ, а также по "условно" допускаемым уровням выбросов БП (КУ) (табл. 5) с ОГ бензиновых и дизельных двигателей легковых автомобилей.

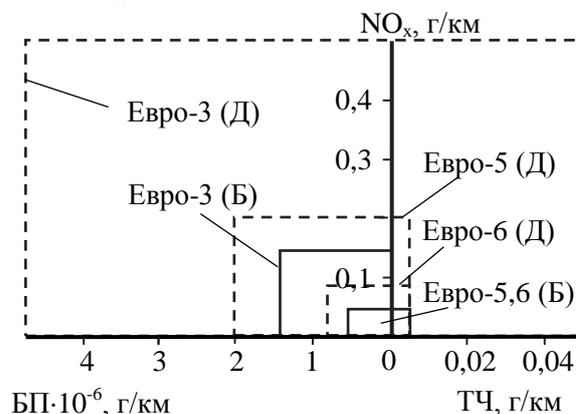


Рис. 1. Изменение международных норм на выбросы с ОГ NO_x , ТЧ и БП, определяющие ЭКО дизелей (Д) и бензиновых двигателей (Б) легковых автомобилей

Приведенные данные подтверждают, что в нормах Евро-6 предусмотрено повышение требований к ЭКО дизелей легковых автомобилей.

Методология повышения ЭКО транспортных ДВС

Транспортные ДВС являются основными потребителями нефтяных топлив и их экологизация должна выполняться с учетом решения топливной проблемы. Т.е. необходим комплексный подход, учитывающий существенное повышение топливной экономичности и экокандерогенную безопасность двигателей.

Важным направлением в повышении топливной экономичности и экологической безопасности является использование альтернативных, в том числе композитных углеводородно-водородных, топлив (табл. 6) [7,8].

Следует отметить, что данные испытаний

микроавтобуса с ДВС ($V_h = 2,45$ л и $\epsilon = 8,2$) на стенде с беговыми барабанами по городскому ездовому циклу при использовании бензоводородных топливных композиций (БВТК) показали существенное улучшение его экономических и экологических показателей.

Таблица 6 Результаты испытаний легковых автомобилей с ДВС при использовании альтернативных топлив

Топлива	m'_{CO}	m'_{CH}	m'_{NOx}	$m'_{БП} \cdot 10^6$	$[ЭКО]_j \cdot 10^3$
	г/км				м ³ /км
Природный газ	1,3	1,0	0,4	0,2	15
Метанол	0,8	1,1	0,3	0,25	10
Бензин А92 +10% мас.Н ₂	1,2	0,3	0,25	0,2	6
Водород	–	–	0,2	–	4

Примечание. Так как в ОГ автомобильных двигателей практически отсутствовали ТЧ, то показатели $[ЭКО]_j$ определялись по уровням выбросов NO_x с ОГ.

Пример возможной взаимосвязи между уровнями (ЭКО)_j легковых автомобилей с ДВС и их эксплуатационной топливной экономичностью представлен на рис. 2.

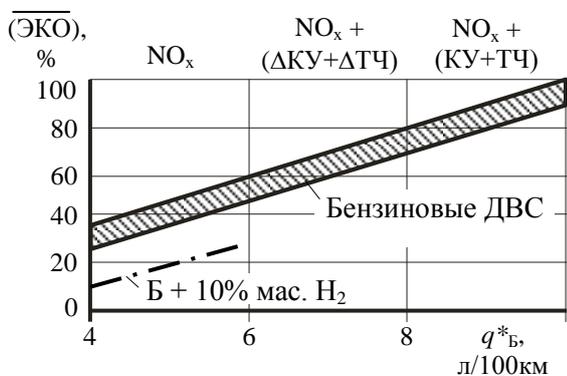


Рис. 2. Относительная ЭКО опасность ОГ ДВС легковых автомобилей в зависимости от их эксплуатационной экономичности: $q^*_{Б}$ – приведенный расход бензина по городскому ездовому циклу

Одной из эффективных и надежных систем нейтрализации NO_x в ОГ автомобильных ДВС является каталитическая система накопительного типа (рис. 3). Принцип действия рассматриваемого нейтрализующего устройства заключается в том, что при работе двигателя на горючих смесях, беднее стехиометрической, платина нейтрализатора способствует превращению NO_x и O₂ в диоксид азота, который временно накапливается (адсорби-

руется) в самом нейтрализаторе. Но как только двигатель начинает работать на обогащенной горючей смеси, например при наборе мощности, диоксид азота освобождается и, взаимодействуя с несгоревшими углеводородами, оксидом углерода и водородом, переходит в молекулярный азот [1].

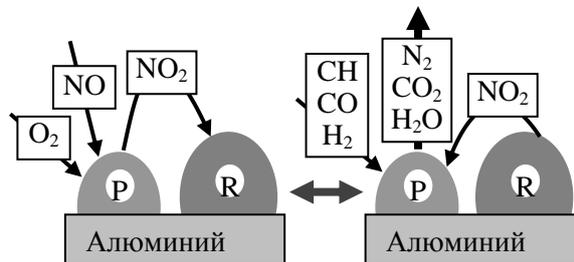


Рис. 3. Схема работы нейтрализатора накопительного типа: слева – в цилиндрах двигателя сгорает бедная горючая смесь, справа – смесь стехиометрического или богатого состава

Компьютеризация управления ДВС является наиболее эффективным способом повышения эксплуатационных топливно-экологических показателей автомобиля. На рис. 4 приведена одна из схем энергоустановки автомобиля с комбинированной адаптивной микропроцессорной системой управления и регулирования (КАМПСУ и Р) ДВС.

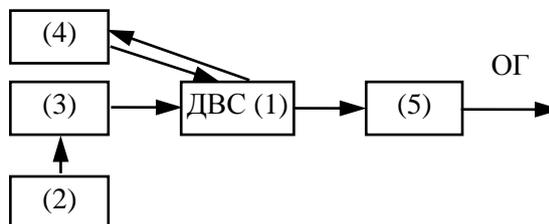


Рис. 4. Схема современной системы управления и регулирования энергоустановки автомобиля

В соответствии со схемой цилиндры ДВС оборудуются датчиками преддетонации (1). Используемые топлива (2) содержат минимальные уровни ароматических (особенно полиароматических) углеводородов и серы, а используемые добавки нетрадиционных топлив, в том числе водорода, повышают отношение Н/С и увеличивают октановое число (ОЧ) бензинов. Используется комбинированная электронная система управления подачей топлива (3), обеспечивающая высокую степень точности и фазности дозирования, качества распыливания и регулирования наиболее рационального угла опережения подачи топлива. Применяется комбинированная адаптивная микропроцессорная система управления и регулирования (4), которая обеспечивает работу ДВС на режимах преддетонации в цилиндрах (рис. 5) и поддержание

минимального эксплуатационного расхода топлива путем выбора и установления оптимальных комбинаций параметров работы ДВС ($\alpha_{см.}$, $\varphi_{заж.}$, ϵ и т.д.). На автомобиле может устанавливаться также восстановительная система каталитической нейтрализации ОГ накопительного типа (рис. 3), обеспечивающая существенное снижение уровней выбросов NO_x с ОГ двигателя.

Наилучшие результаты обеспечивает комплексная компьютерная система регулирования ДВС, которая вмонтирована в общую систему управления автомобиля. В таком случае оптимизируются не только топливно-экономические и экологические показатели автомобиля, но и обеспечиваются его динамические качества и эксплуатационная безопасность. Такие компьютерные системы могут реально оптимизировать управление двигателем и автомобилем по комплексной целевой функции, например, по среднеэксплуатационному расходу топлива или эколого-экономическому критерию при обеспечении необходимой параметрической надежности.

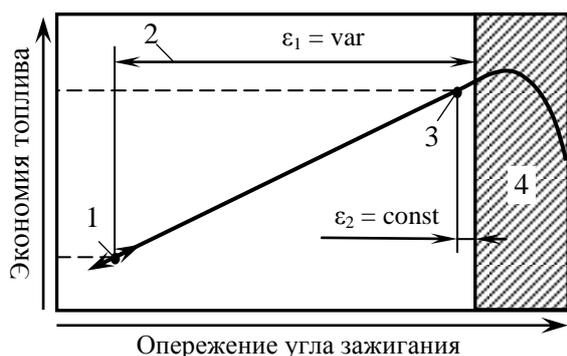


Рис. 5. Схема работы ДВС с датчиками преддетонации:

- 1 – рабочая точка при традиционном управлении ДВС;
- 2 – защитный интервал на отсутствие детонации в цилиндрах ДВС на эксплуатационных режимах;
- 3 – рабочая точка при адаптивном микропроцессорном управлении ДВС;
- 4 – зона детонации

Сочетание практически всех описанных выше технических решений было осуществлено на ряде автомобилей фирмы «Тойота» (с непосредственным впрыском бензина под большим давлением $P > 120$ МПа), что позволило обеспечить значительную экономию топлива (до 30 %) и существенно снизить их экологическую опасность.

Заключение

Автотранспорт является основным потребителем нефтяных топлив и определяющим техногенным загрязнителем атмосферы городов канцерогенно-мутагенными ингредиентами. Канцерогенная опасность автомобильных двигателей более чем на

90 % определяется двумя парами супертоксикантов: ($KU + NO_x$) и ($TC + KU$), которые в условиях ОС синтезируют еще более опасные соединения, обладающие мутагенными свойствами. Поэтому в требованиях к экологической безопасности автомобильных двигателей должна учитываться суммарная канцерогенная составляющая ОГ.

Одними из важнейших путей решения топливно-экологических проблем автотранспорта являются:

- повышение их эксплуатационной топливной экономичности и параметрической надежности;
- ограничение содержания в моторных топливах ароматических и особенно полиароматических углеводородов, а также серы;
- расширение доли использования альтернативных топлив: природного газа, синтетических углеводородных топлив и водорода в качестве как основных, так и дополнительных энергоносителей;
- оборудование автомобилей современными системами нейтрализации отработавших газов ДВС, в том числе накопительного типа, а также – системами улавливания твердых частиц, на которых сорбируется значительная доля канцерогенных углеводородов;
- применение комбинированных адаптивных микропроцессорных систем управления и регулирования рабочих процессов ДВС и автомобилей в целом.

Список литературы:

1. Канило П.М. Автотранспорт. Топливо-экологические проблемы и перспективы: монография / П.М. Канило. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – 272 с.
2. Матвеева Н.А. Гигиена и экология человека / Н.А. Матвеева, А.В. Леонов, М.П. Грачева и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
3. Health assessment document for diesel engine exhaust / EPA/600/8-90/057F. – National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. – Washington, 2002. – 669 p.
4. Dawson D.S. For the proposed identification of diesel exhaust as toxic air contaminant. Part B: Health risk assessment for diesel exhaust / D.S. Dawson, G.V. Alexeeff, J.D. Budroe, S.V. Campelman et al. – California EPA, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Air Toxicology and Epidemiology Section, 1998. – 442 p.
5. Draper W.M. Impact of barium fuel additive on the mutagenicity and polycyclic aromatic hydrocarbon content of diesel exhaust particulate emissions / W.M. Draper, J.A. Phillips, H.W. Zeller // SAE Techn. Pap. Ser. №881651, 1988. – 19 p.
6. Shore P.R. Application of short-term bioassays to the assessment of engine exhaust emissions / P.R. Shore, J.M. Tesh, J.C. Bootman // SAE Techn. Pap. Ser. №870627, 1987. – 16 p.
7. Канило П.М. Анализ эффективности использования альтернативных топлив на автотранспорте / П.М. Канило, К.В. Костенко // Проблемы машиностроения: сб. научн. тр. – 2011. – Т. 14., № 1. – С. 69-73.
8. Канило П.М. Минимизация канцерогенной опасности отработавших газов двигателей внутреннего

сгорания / П.М.Канило А.П.Марченко, И.В.Парсаданов, А.П. Поливянчук // Двигатели внутреннего сгорания: сб. научн. тр. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. – № 1. – С. 7–13.

Bibliography (transliterated):

1. Канило П.М. *Автотранспорт. Топливо-экологические проблемы и перспективы: монография* / П.М. Канило. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – 272 с. 2. Матвеева Н.А. *Гигиена и экология человека* / Н.А. Матвеева, А.В. Леонов, М.П. Грачева и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с. 3. *Health assessment document for diesel engine exhaust* / EPA/600/8-90/057F. – National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. – Washington, 2002. – 669 p. 4. Dawson D.S. *For the proposed identification of diesel exhaust as toxic air contaminant. Part B: Health risk assessment for diesel exhaust* / D.S. Dawson, G.V. Alexeff, J.D.

Vudroe, S.V. Campelman et al. – *California EPA, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Air Toxicology and Epidemiology Section, 1998. – 442 p.* 5. Draper W.M. *Impact of barium fuel additive on the mutagenicity and polycyclic aromatic hydrocarbon content of diesel exhaust particulate emissions* / W.M. Draper, J.A. Phillips, H.W. Zeller // *SAE Techn. Pap. Ser. №881651, 1988. – 19 p., doi:10.4271/881651* 6. Shore P.R. *Application of short-term bioassays to the assessment of engine exhaust emissions* / P.R. Shore, J.M. Tesh, J.C. Bootman // *SAE Techn. Pap. Ser. №870627, 1987. – 16 p., doi:10.4271/870627* 7. Канило П.М. *Анализ эффективности использования альтернативных топлив на автотранспорте* / П.М. Канило, К.В. Костенко // *Проблемы машиностроения: сб. научн. тр. – 2011. – Т. 14., № 1. – С. 69-73.* 8. Канило П.М. *Минимизация канцерогенной опасности отработавших газов двигателей внутреннего сгорания* / П.М.Канило А.П.Марченко, И.В.Парсаданов, А.П. Поливянчук // *Двигатели внутреннего сгорания: сб. научн. тр. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. – № 1. – С. 7–13.*

Поступила в редакцию 27.05.2016 г.

Канило Павел Макарович – доктор техн. наук, проф., Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина.

Марченко Андрей Петрович – доктор техн. наук, проф., проректор по научной работе, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: dvs@kpi.kharkov.ua.

Парсаданов Игорь Владимирович – доктор техн. наук, проф., главный научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua.

Полів'янчук Андрей Павлович, доктор техн. наук, проф., профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, armail@meta.ua

ПІДВИЩЕННЯ КАНЦЕРОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

П.М. Канило, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, А.П. Полив'янчук

Проведено порівняльний аналіз Європейських вимог до екологічної безпеки легкових автомобілів з різними двигунами внутрішнього згоряння. Розглянуто шляхи та методи підвищення еколого-канцерогенної безпеки транспортних двигунів внутрішнього згоряння, включаючи використання альтернативних палив з підвищеним водневим показником, а також способи істотного підвищення паливної економічності двигунів. Робиться висновок про те, що автомобільний транспорт є визначальним забруднювачем атмосфери міст канцерогенно-мутагенними інгредієнтами і що у вимогах до екологічної безпеки автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння повинна враховуватися сумарна канцерогенна складова відпрацьованих газів, що надходять в атмосферу.

IMPROVING THE SAFETY FROM CARCINOGENS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF TRANSPORTATION

P.M. Kanilo, A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, A.P. Polivyanchuk

The comparative analysis of European environmental safety requirements of passenger cars with different internal combustion engines. Considered ways and methods to improve ecological and carcinogenic vehicle safety internal combustion engines, including the use of alternative fuels with a high hydrogen indicator, as well as ways to significantly improve fuel efficiency. It is concluded that road transport is the determining atmospheric pollutant cities cancerogenic properties-mutagenic ingredients and therefore environmental safety requirements for vehicles with internal combustion engines should be taken into account, the total of the well-documented carcinogenic component of exhaust gases entering the atmosphere.