

УДК 621.43.068.4

П. М. Канило, д-р техн. наук
К. В. Костенко

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, E-mail: pmk@ipmach.kharkov.ua)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ НА АВТОТРАНСПОРТЕ

Рассмотрены основные аспекты современной топливно-экологической проблемы автомобильного транспорта и перспективы замещения нефтяных топлив альтернативными, в том числе композитными, энергоносителями. Приведены результаты исследования легковых автомобилей по Европейскому городскому ездовому циклу при использовании различных топлив и дан комплексный анализ экологических показателей автомобилей с учетом суммарной канцерогенности отработавших газов. Показано, что наиболее эффективным заменителем нефтяных моторных топлив на автотранспорте как с экономической, так и экологической точек зрения является природный газ, а в ближайшей перспективе – синтетические, в том числе спиртовые, топлива и водород.

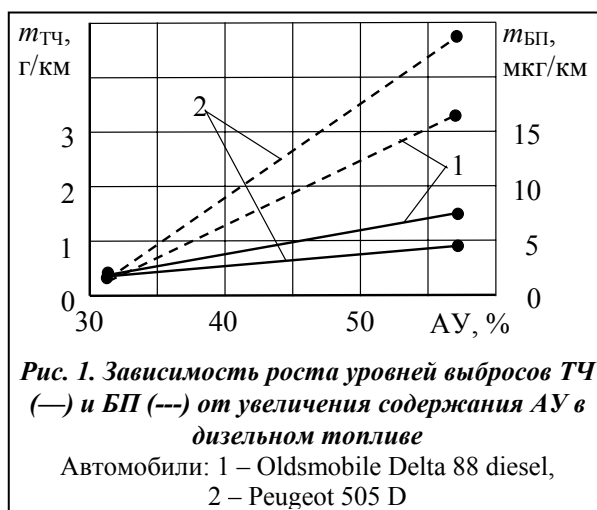
Розглянуті основні аспекти сучасної паливно-екологічної проблеми автомобільного транспорту та перспективи заміщення нафтових палив альтернативними, у тому числі композитними, енергоносіями. Наведені результати досліджень легкових автомобілів за Європейським міським їздовим циклом при використанні різних палив та дано комплексний аналіз екологічних показників автомобілів з урахуванням сумарної канцерогенності відпрацьованих газів. Показано, що найбільш ефективним заміником нафтових моторних палив на автотранспорті як з економічної, так і екологічної точок зору є природний газ, а в найближчій перспективі – синтетичні, у тому числі спиртові, палива та водень.

Введение

Сегодня в мире насчитывается примерно 800 млн. автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), и их производство постоянно растет. В ближайшее 10–20 лет число автомобилей, в первую очередь легковых, возрастет до 1 миллиарда, и топливно-экологическая проблема обострится. Поэтому практически всеми странами мира планируется снижение потребления нефтяных моторных топлив, включая их замещение альтернативными энергоносителями. К альтернативным энергоносителям относят топлива, не являющиеся продуктами переработки нефти, и традиционные нефтяные топлива, модифицированные различными добавками. Наиболее перспективными альтернативными топливами являются: природный газ, синтетические моторные топлива (СМТ), в том числе спиртовые, биотоплива и водород, который может использоваться как основное топливо, так и в качестве высокоэффективной добавки к горючим смесям, а также – как необходимый компонент при производстве СМТ [1–5].

Анализ экологических проблем автотранспорта

Автотранспорт является основным загрязнителем окружающей среды (ОС), особенно атмосферы крупных городов. Интегральные экологохимические показатели автомобилей в значительной степени определяются эксплуатационной топливной экономичностью, параметрической надежностью и качеством используемых топлив, в том числе уровнями содержания водорода, ароматических углеводородов (АУ), серы и т.д. Анализ загрязненности атмосферы городов с интенсивным автомобильным движением показал, что наиболее опасными по степени воздействия на организм человека являются оксиды азота (NO_x) и канцерогенные углеводороды (КУ), а также мелкодисперсные твердые частицы (ТЧ). Их доля при

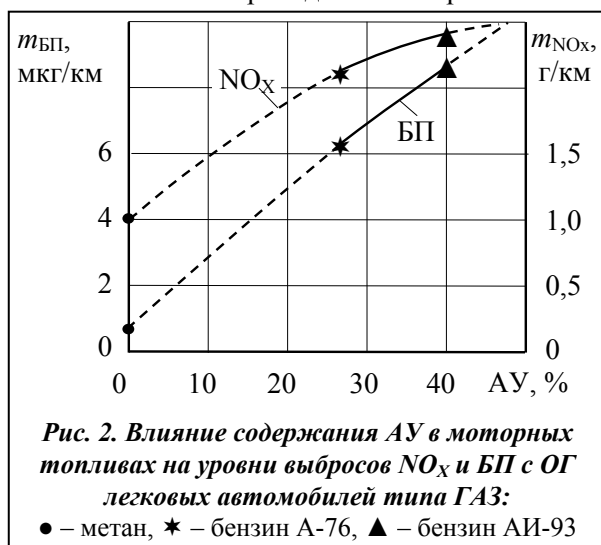


их ИКА: $\Sigma(m_{КУ} \cdot ИКА) \cong 1,3m_{БП}$, г/км [6–10].

Немецкая транспортная ассоциация на протяжении последних лет формирует так называемый экологический рейтинг автомобилей по критериям, отражающим степень вредного воздействия на здоровье человека отдельных составляющих отработавшими газами (ОГ). На первое место она ставит КУ. 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 была сформулирована задача: в ближайшие годы уменьшить обусловленные автотранспортом выбросы канцерогенов на 90% [11]. Одними из основных носителей канцерогенов и нитроканцерогенов, причем существенно усиливающими их агрессивность (промотирующее воздействие), являются мелкодисперсные ТЧ.

Сильное влияние на экологические показатели автомобилей с ДВС оказывает использование нефтяных топлив с повышенным содержанием АУ [12–13]. На рис. 1 и 2 приведены усредненные данные по уровням выбросов NO_x , БП и ТЧ с ОГ легковых автомобилей с различными ДВС при их испытании по Европейскому городскому ездовому циклу в зависимости от уровня содержания АУ в моторных топливах. Представленные данные указывают на то, что бензины и дизельные топлива, изготавливаемые из нефти по современным технологиям, характеризуются повышенным содержанием АУ, что приводит при их использовании к росту уровней выбросов NO_x , БП и ТЧ с ОГ двигателей.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные по результатам исследований ряда легковых автомобилей с ДВС типа ЗМЗ по Европейскому городскому ездовому циклу при использовании различных топлив. Из представленных результатов следует, что использование альтернативных топлив с повышенным содержанием водорода (природный газ, бензоводородные смеси и др.) приводит к снижению уровней выбросов NO_x , БП и ТЧ с ОГ автомобилей.



оценке экологической опасности автомобильных двигателей составляет 95% и более. Особенно опасны их производные – нитроканцерогенные вещества, обладающие как следствие явлений синергизма мутагенными свойствами. Именно бенз(а)пирен (БП) среди выделенной учеными приоритетной группы КУ обладает наибольшим индексом канцерогенной агрессивности (ИКА), и для него установлена среднесуточная предельно допустимая концентрация в атмосфере городов $[ПДК_{БП}]_{cc} = 10^{-6}$ мг/м³. Экспериментально установлена корреляционная зависимость между удельными уровнями выбросов с ОГ автомобилей БП ($m_{БП}$) и приоритетной группой КУ ($m_{КУ}$) с учетом

легковых автомобилей с ДВС типа ЗМЗ по Европейскому городскому ездовому циклу при использовании различных топлив. Из представленных результатов следует, что использование альтернативных топлив с повышенным содержанием водорода (природный газ, бензоводородные смеси и др.) приводит к снижению уровней выбросов NO_x , БП и ТЧ с ОГ автомобилей.

На основе экспериментальных данных предложен удельный интегральный показатель экологохимической (канцерогенно-мутагенной) опасности ($ЭХО$)_г легковых автомобилей и критерий соответствия его интегральных экологохимических показателей международным нормам

$K_j = (\text{ЭХО})_j / [\text{ЭХО}]_j$ с учетом: санитарно-гигиенических нормативов для токсичных и канцерогенных ингредиентов $[\text{ПДК}_i]_{\text{cc}}$, а также – суммарной канцерогенности ОГ. Для оценки эффекта усиления совмещенного токсичного и канцерогенного действия ряда вредных веществ (ВВ) на человека в условиях городской среды установлены экспертные коэффициенты: $k_{\text{NO}_x} = 3$; $k_{\text{БП}} = 4$; $k_{\text{КУ}} = 4 \cdot 1,3 = 5,2$. При этом интегральный показатель $(\text{ЭХО})_B$ для ДВС с принудительным воспламенением горючих смесей (без учета СО и СН – см. табл. 2) представлен следующим образом:

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

Допускаемый по Европейским нормам показатель $[\text{ЭХО}]_B$ оценивался как

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

где m_i , $[m_i]$ – соответственно экспериментально полученные и допустимые уровни выбросов ВВ с ОГ автомобиля, г/км; $[\text{ПДК}_{\text{NO}}]_{\text{cc}} = 0,06$; $[\text{ПДК}_{\text{NO}_2}]_{\text{cc}} = 0,04$; $[\text{ПДК}_{\text{БП}}]_{\text{cc}} = 10^{-6}$ мг/м³.

Допустимые уровни выбросов БП $[m_{\text{БП}}]_B$ определялись (с учетом суммарной канцерогенной агрессивности ОГ) по следующей зависимости:

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

Обобщенные экологохимические показатели и долевое участие i -х ВВ в экологохимической опасности исследуемых легковых автомобилей при использовании различных топлив представлены в табл. 2, из которой следует, что доля (СО + СН) в рассматриваемом показателе не превышает для используемых бензинов 2 %, а для остальных топлив – 5%. Расчетные данные по граничным значениям $[\text{ЭХО}]_B$ и $[m_{\text{БП}}]_B$, а также по критериям экологохимической опасности (K_B) исследуемых легковых автомобилей приведены в табл. 3.

Таблица 1. Экспериментальные данные

№ топлива	Моторные топлива	Уровни образования вредных веществ, г/км			
		$m_{\text{СО}}$	$m_{\text{СН}}$	m_{NO_x}	$m_{\text{БП}} \cdot 10^6$
1	Бензин АИ-93	6,7	2,3	2,4	8,9
2	Бензин А-76	4,9	2,4	2,2	6,3
3	Пропан-бутан	1,7	2,1	1,0	1,2
4	Бензин А-76 + 30 % метанола	5,0	1,8	0,9	0,8
5	Природный газ	1,3	1,0	1,0	0,6
6	Бензин АИ-93 + 10 % водорода	1,2	0,4	0,5	0,8
7	Метанол	0,8	1,1	0,8	0,6
8	Водород	–	–	0,2	–

Примечание: доля $\text{NO}_2/\text{NO}_x \approx 0,1$.

Таблица 2. Экологохимические показатели исследуемых автомобилей

Моторные топлива (см. табл. 1)	$(\text{ЭХО})_B \cdot 10^{-3}$, нм ³ /км	$(\text{ЭХО})_i / (\text{ЭХО})_B$, %		
		СО+СН	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	5	76	18
6	15	4	68	28
7	15	5	67	27
8	3	–	100	–

Таблица 3. Граничные и относительные экологохимические показатели автомобилей

Моторные топлива (см. табл. 1)	Евро-II	Евро-III	Евро-IV	Евро-V
	$[\text{ЭХО}] \cdot 10^{-3}$, $\text{нм}^3/\text{км}$ / $[m_{\text{БП}}] \cdot 10^6$, $\text{г}/\text{км}$			
	27 / 2,5	17 / 1,5	9 / 0,8	6,7 / 0,6
	$K_{\text{Б}} = (\text{ЭХО})_{\text{Б}} / [\text{ЭХО}]_{\text{Б}}$			
1	6,5	10,4	19,6	26,3
2	5,6	8,9	16,8	22,5
3	2,3	3,6	6,9	9,3
4	2,0	3,1	5,9	7,9
5	0,6	1,0	1,9	2,5
6	0,6	0,9	1,7	2,2
7	0,6	0,9	1,7	2,2
8	0,1	0,2	0,3	0,4

На основании результатов проведенных исследований легковых автомобилей, не оборудованных системами нейтрализации ОГ, 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 езды синтезируют предельно опасные для человека нитроканцерогенные вещества, обладающие мутагенными свойствами. При этом мелкодисперсные ТЧ существенно усиливают их агрессивность. Повышенное содержание АУ, характерное для современных нефтяных топлив, резко усиливает эту закономерность.

2. Выполнение международных норм «Евро-II» (принятых в Украине) и «Евро-III» указанными легковыми автомобилями возможно при использовании: природного газа, спиртовых моторных топлив, а также водорода в качестве как основного, так и дополнительного энергоносителя. Нормы «Евро-IV» и «Евро-V» указанными автомобилями фактически могут выполняться только при использовании водорода в качестве основного энергоносителя.

3. Для повышения экологической безопасности легковых 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 ;
- для снижения выбросов NO_x с ОГ автомобилей рациональным является использование, например, современных восстановительных нейтрализаторов накопительного типа [6];
- 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.

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

Литература

1. Эколого-экономический анализ эффективности использования газообразных энергоносителей в автомобильном транспорте / П. М. Канило, К. В. Костенко, М. В. Сарапина, М. А. Костыркин // Автомоб. трансп.: Сб. науч. тр. – Харьков: Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – 2007. – Вып. 21. – С. 98–107.

2. *Природный газ – наиболее эффективный заменитель нефтяных топлив на автотранспорте* / П. М. Канило, Ф. И. Абрамчук, А. П. Марченко, И. В. Парсаданов // *Автомоб. трансп.: Сб. науч. тр. – Харьков: Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – 2008. – Вып. 22. – С. 86–92.*
3. *Кузык Б. Н. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике* / Б. Н. Кузык, Ю. В. Яковец. – М.: Ин-т. эконом. стратегий, 2007. – 400 с.
4. *Канило П. М. Анализ эффективности и перспектив применения водорода в автомобильном трансп.* / П. М. Канило, М. В. Шадрина // *Пробл. машиностроения. – 2006. – Т. 9, № 2. – С. 79–85.*
5. *Канило П. М. Перспективы становления водородной энергетике и трансп.* / П.М. Канило, К. В. Костенко // *Автомоб. трансп.: Сб. науч. тр. – Харьков: Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – 2008. – Вып. 23 – С. 107–113.*
6. *Канило П. М. Автомобиль и окружающая среда* / П. М. Канило, И. С. Бей, А. И. Ровенский. – Харьков: Прапор. – 2000. – 304 с.
7. *Канило П. М. Эколого-химическая опасность легковых автомобилей с различными ДВС* / П. М. Канило, М. В. Шадрина // *Автомоб. трансп.: Сб. науч. тр. – Харьков: Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – 2005. – Вып. 17. – С. 35–39.*
8. *Канило П. М. Эколого-химические показатели автомобильных ДВС с учетом канцерогенности отработавших газов* / П. М. Канило, М. В. Шадрина // *Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – № 2. – С. 154–159.*
9. *Канило П. М. Интегральные эколого-химические показатели автомобилей с поршневыми двигателями* / П. М. Канило, М. В. Сарапина // *Автомоб. трансп.: Сб. науч. тр. – Харьков: Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – 2007. – Вып. 20. – С. 68–74.*
10. *Канило П. М. Анализ уровней образования оксидов азота в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания при использовании композитных топлив* / П. М. Канило, К. В. Костенко, М. В. Шадрина // *Пробл. машиностроения. – 2007. – Т. 10, № 2. – С. 83–88.*
11. *Петров Р. Л. Германия: Экологический рейтинг автомобилей* / Р. Л. Петров // *Автомоб. пром-сть. – 2001. – № 7. – С. 35–39.*
12. *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.
13. *Канило П. М. Пути улучшения экологических показателей автомобилей при использовании высокоароматизированных нефтяных топлив* / П. М. Канило, К. В. Костенко, М. В. Сарапина // *Автомоб. трансп.: Сб. науч. тр. – Харьков: Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т.– 2008.– Вып. 22. – С. 31–37.*

Поступила в редакцию
10.02.11