

**ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

УДК 669.85/86+502.7

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ  
И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ В АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ****П.М. Канило, профессор, д.т.н., К.В. Костенко, ассистент,  
Э.А. Почаи, студентка, В.А. Беседина, студентка, ХНАДУ**

*Аннотация.* Рассмотрены основные аспекты современной топливно-экологической проблемы автомобильного транспорта и перспективы замещения нефтяных топлив альтернативными, в том числе композитными, энергоносителями. Приведены результаты исследований легковых автомобилей на Европейском городском ездовом цикле, дан комплексный анализ эколого-экономических показателей автомобилей.

*Ключевые слова:* автомобильный транспорт, топлива, ароматические углеводороды, отработавшие газы, канцерогенные углеводороды, экологические показатели.

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАФТОВИХ  
ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ****П.М. Канило, професор, д.т.н., К.В. Костенко, асистент,  
Е.А. Почаї, студентка, В.А. Беседина, студентка ХНАДУ**

*Анотація.* Розглянуто основні аспекти сучасної паливно-екологічної проблеми автомобільного транспорту та перспективи заміщення нафтових палив альтернативними, у тому числі композитними, енергоносіями. Наведено результати досліджень легкових автомобілів на Європейському міському їздовому циклі, подано комплексний аналіз еколого-економічних показників автомобілів.

*Ключові слова:* автомобільний транспорт, палива, ароматичні вуглеводні, відпрацьовані газы, канцерогенні вуглеводні, екологічні показники.

**PERFORMANCE ANALYSIS OF APPLYING OF OIL  
AND ALTERNATIVE FUELS IN AUTOMOBILE TRANSPORT****P. Kanilo, Professor, Doctor of Technical Science, K. Kostenko, assistant,  
E. Pochay, student, V. Besedina, student, KhNAHU**

*Abstract.* The basic aspects of modern fuel ecological problems of motor transport and future trends of oil fuels substitution by alternative ones, including composite energy carriers are considered. The results of vehicles' tests according to the European driving schedule are presented and a complex analysis of vehicles' ecology economic indexes is given.

*Key words:* motor transport, fuels, aromatic hydrocarbons, working gases, carcinogenic hydrocarbons, ecological indexes.

**Введение**

В настоящее время топливно-энергетические и экологические проблемы являются наиболее актуальными и глобальными. Они связаны с нехваткой и подорожанием ископаемых энергетических ресурсов. Именно исчерпа-

ние природных ресурсов при условиях их неэффективного использования и ухудшение качества окружающей среды (ОС) являются важнейшими составляющими современного топливно-экологического кризиса. Возрастающие потребности человечества в производстве энергии предопределяют увеличение

расхода природных ресурсов и уровней загрязнения ОС. Автомобильный транспорт потребляет наиболее значительную долю нефтепродуктов и одновременно является постоянно действующим фактором вредного воздействия на ОС. Максимальный экологический ущерб ОС причиняется токсичными и канцерогенно-мутагенными соединениями, выбрасываемыми с отработавшими газами (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей [1, 2].

Сегодня в мире насчитывается примерно 800 млн автомобилей с 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 [3, 4]. Перспективными альтернативными топливами являются: природный газ, синтетические моторные топлива (СМТ), в том числе спиртовые, 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 [5 – 9].

#### Анализ топливно-ресурсной проблемы

Согласно прогнозам мировые ресурсы нефти ограничены, например, для стран Европы, включая Российскую Федерацию, – двумя-тремя десятками лет. Запасов природного газа в указанных странах (при современном уровне его потребления) предполагается хватит примерно на 60 лет (табл. 1).

Таблица 1 Запасы ресурсов (Европа и СНГ)

Показатели	Невозобновляемые ресурсы		
	нефть, млн т	природный газ, млрд м <sup>3</sup>	уголь, млн т н.э.
Ресурсы	19000	64010	110000
Добыча за год	845	1061	436
Потребление за год	960	1122	538
Запас, годы	22	60	240

Так как природный газ имеет относительно низкую энергетическую стоимость, примерно в 2 раза ниже стоимости современных бензинов (табл. 2), то по имеющимся запасам и стоимости его следует рассматривать на

ближайшие десятилетия как наиболее перспективное топливо для автомобильного транспорта, особенно эксплуатируемого в крупных городах [5].

Таблица 2 Эксплуатационные показатели моторных топлив

Вид топлива	Параметры			
	$H_N^P$ , МДж/кг	ОЧИ	$\alpha_{гран}$	Цена, дол./ГДж
Бензин (Б) А80 (АУ ≈ 35 %)	44	80	0,7-1,1	≥ 23
Бензин А98 (АУ ≈ 55 %)	44	98	0,7-1,1	≥ 30
Дизельное	43	–	0,9-5	≥ 25
Метан (сжатый)	50	120	0,8-1,7	≥ 16
Метанол	20	106	0,7-1,4	≥ 20*
Бензин А80 + 10% мас. Н <sub>2</sub>	54	98	0,7-2	≥ 25
Водород (сжатый)	120	130	0,2-5	≥ 32**

Примечание: ОЧИ – октановое число, определяемое по исследовательскому методу; \* – производимый из угля (при цене угля 60 дол./т); \*\* – электролизный водород (при стоимости электроэнергии 0,25 грн/кВт·ч).

В настоящее время потребительская стоимость энергетических углей (Ц<sub>у</sub>) находится на уровне 3 - 5 дол./ГДж, что значительно ниже стоимости современных нефтяных топлив. Однако удельная стоимость производства синтетического топлива по традиционным технологиям пока выше энергетической стоимости природного газа.

#### Мировой опыт применения альтернативных топлив на автомобильном транспорте

В 60 странах мира на природном газе работает примерно 10 млн автомобилей. Мировым лидером является Аргентина (более 1 млн автомобилей, работающих на природном газе). В соответствии с планами Европейской экономической комиссии ООН до 2020 года ~ 30 млн автомобилей в странах ЕС будут работать на природном газе, главным образом, это городские автобусы, микроавтобусы, легковые автомобили. Ежегодное потребление природного газа таким количеством машин составит более 50 млрд. м<sup>3</sup>. Например, в Германии к 2010 году количество автомобилей, работающих на природном газе, должно вырасти до 1 млн, а к 2020 – до 8 млн, что составит более 30 % от всего автопарка стра-

ны. В некоторых странах Южной и Северной Америки, а также Европы, в двигателях с принудительным воспламенением горючей смеси широко используются бензometанольные смеси (M-15, M-20). Ведущими мировыми автомобильными фирмами («Хонда», «Тойота», «Дженерал моторс», и др.) созданы и испытываются модельные образцы автомобилей, в том числе с гибридными энергоустановками, включая использование и электрохимических генераторов, работающих на продуктах конверсии спиртовых топлив.

Одним из наиболее вероятных направлений, способных качественно изменить сложившуюся ситуацию в мировой транспортной энергетике, во многих странах считается переход к водородному топливу. Работы по развитию водородной энергетики в настоящее время активно ведут многие страны мира, включая США, Японию, Китай, Индию, Канаду, Австралию, страны ЕС [6–8].

По прогнозам американских специалистов, в случае успеха запланированных исследований и внедрения новых технологий в 2020 г., автомобили на водородных топливных элементах позволят сократить спрос на нефть в США к 2040 г. более чем на 11 млрд баррелей в день. Водородная энергетика интенсивно внедряется в Германии. При поддержке правительства создаются новые компании, призванные обеспечить лидерство Германии в области водородной энергетики. Правительство предоставляет фонды для ведущих проектов, что вызывает приток частных инвестиций. На федеральном уровне на работы по водородной энергетике выделяется более 100 млн евро в год. Автомобильные фирмы Германии успешно участвуют в мировой гонке за «водородный автомобиль».

В настоящее время наиболее активна фирма Daimler Chrysler, создавшая ряд демонстрационных образцов автомобилей Nesar и автобусов Nebus на топливных элементах. Информация о водородных проектах поступает и из других стран Евросоюза. Так, в Испании управление городским транспортом Барселоны в рамках европейского проекта «Clean urban transport for Europe» («Чистый городской транспорт для Европы») в порядке эксперимента запустило в эксплуатацию три линии автобусов с водородными топливными элементами. Накопленный в этой области

опыт представляет несомненный интерес и для Украины как с точки зрения возможных изменений на мировом рынке традиционных энергоносителей, так и в плане разработки собственных программ развития водородной энергетики и транспорта.

#### **Анализ моторных качеств альтернативных топлив и энергетической эффективности их использования**

Следует особо отметить, что альтернативные топлива, обладающие повышенным водородным показателем и высокими антидетонационными качествами (см. табл. 2), наиболее эффективно могут быть использованы в ДВС с принудительным воспламенением обедненных горючих смесей. Моторные качества метана, такие как высокие теплотехнические и детонационные показатели, широкий диапазон изменения концентрационных пределов обеднения горючих смесей, позволяют в ДВС повысить степень сжатия, реализовать энергетически и экологически высокоэффективное сжигание обедненных газозводушных смесей. Применение в городском автотранспорте природного газа позволяет обеспечить значительный экономический эффект в результате снижения затрат на топливо и на возмещение экологического ущерба, снизить загрязнение атмосферы городов особо вредными ингредиентами ОГ автомобилей, в первую очередь канцерогенными составляющими [5].

Опыт многих стран мира подтверждает целесообразность использования спиртовых топлив в качестве дополнительного энергоносителя. Так, добавка метанола в количестве ~ 15 % к бензину с октановым числом 72 повышает октановое число до 82 и позволяет эффективно использовать такую бензometанольную смесь в серийно применяемых двигателях с принудительным воспламенением горючих смесей при ее обеднении. Применение метанола (или другого спиртового топлива) в качестве основного водородносителя может рассматриваться как один из перспективных путей повышения топливно-экологических показателей автомобильных двигателей.

Это обусловлено прежде всего тем, что конверсионный газ (конгаз), образующийся в результате конверсии метанола, содержит 67 % об. водорода и 33 % об. оксида углерода, являющихся экологически чистыми составляю-

щими топлива и позволяющими существенно обеднять топливно-воздушную смесь и повышать топливную экономичность двигателя, а также снижать уровни выбросов токсичных и канцерогенных веществ с ОГ автомобилей.

Перспективным альтернативным топливом для автомобильного транспорта является водород, в том числе в качестве дополнительного энергоносителя [7 – 8].

Установлено, что в условиях городской эксплуатации легковых автомобилей при использовании в ДВС обедненных бензоводородо-воздушных смесей (доля водорода  $g_{H_2} \approx 10\%$  мас.) обеспечивается уменьшение расхода бензина до 40 % (за счет замещения бензина водородом и повышения эксплуатационной топливной экономичности автомобилей), снижение выбросов с ОГ: оксидов азота ( $NO_x$ ) – в пять раз, канцерогенных углеводородов (КУ) – на порядок и более, а диоксида углерода ( $CO_2$ ) – примерно на 40 %.

Анализ влияния частичного замещения бензина водородом на изменение удельных эксплуатационных затрат по топливной составляющей (рис. 1), выполненный по разработанной в ИПМаш НАНУ методике оценки топливно-экономической эффективности использования водорода в качестве дополнительного энергоносителя [7 – 8], показал, что экономически оправданным является использование бензоводородных топлив (при  $g_{H_2} = 10\%$  мас.) даже при двойном увеличении отношения энергетических стоимостей (дол./ГДж) водорода к бензину ( $\Psi'$ ).

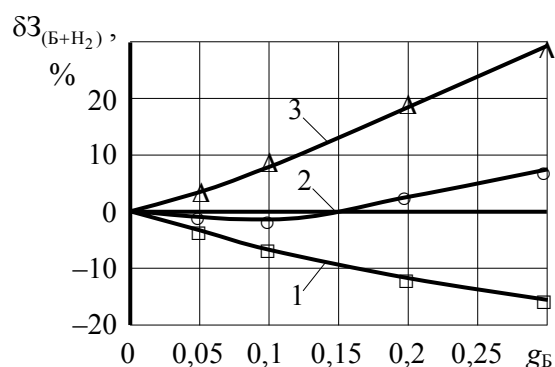


Рис. 1. Влияние частичного замещения бензина ( $g_B$ ) водородом на изменение удельных эксплуатационных затрат по топливной составляющей, где: 1 –  $\Psi' = 2,0$ ; 2 –  $\Psi' = 3,0$ ; 3 –  $\Psi' = 4,0$

Вследствие существенного повышения экологической безопасности ДВС (как будет показано далее) дополнительно расширяется (за счет снижения уровней экокомпенсаций) экономически целесообразный диапазон использования водорода в качестве дополнительного энергоносителя.

### Анализ экологических проблем автомобильного транспорта

Интегральные экологохимические показатели автомобилей в значительной степени определяются их 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 человека являются  $NO_x$  и КУ. Их доля при оценке экологической опасности автомобильных двигателей составляет 95 % и более [1].

Особенно опасны их производные – нитроканцерогенные вещества, обладающие, как следствие явлений синергизма, мутагенными свойствами. Именно бенз(а)пирен (БП), среди приоритетной группы КУ, обладает наибольшим индексом канцерогенной агрессивности (ИКА), и для него установлена средне-суточная предельно допустимая концентрация в атмосфере городов  $[ПДК_{БП}]_{cc} = 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>. Экспериментально установлена корреляционная зависимость между удельными уровнями выбросов с ОГ автомобилей БП ( $m_{БП}$ ) и приоритетной группой КУ ( $m_{КУ}$ ) с учетом их ИКА:  $\Sigma(m_{КУ} \cdot ИКА) = 1,3m_{БП}$ , г/км. Одними из основных носителей канцерогенов и нитроканцерогенов, причем существенно усиливающими их агрессивность, являются мелкодисперсные ТЧ. Правительством ФРГ была сформулирована задача: в ближайшие годы уменьшить обусловленные автотранспортом выбросы канцерогенов на 90 % [10].

Сильное влияние на экологические показатели автомобилей с ДВС оказывает использование нефтяных топлив с повышенным содержанием АУ [2]. На рис. 2 и 3 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<sub>x</sub>, БП и ТЧ с ОГ двигателей.

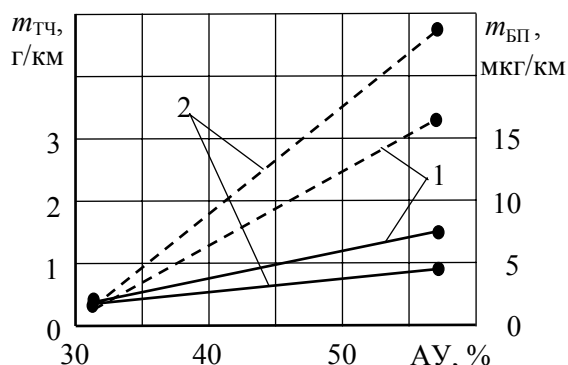


Рис. 2. Зависимость роста уровней выбросов ТЧ (—) и БП (---) от увеличения содержания АУ в дизельном топливе. Автомобили: 1 – Oldsmobile Delta 88 diesel, 2 – Peugeot 505 D

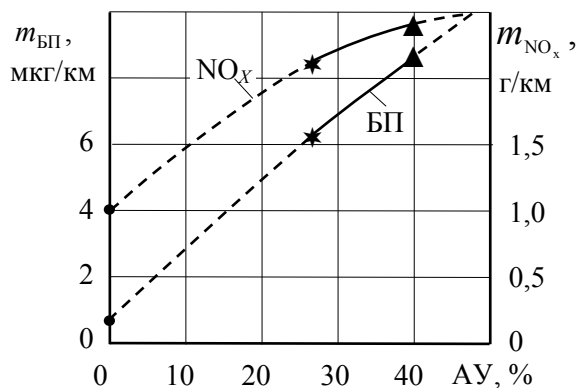


Рис. 3. Влияние содержания АУ в моторных топливах на уровни выбросов NO<sub>x</sub> и БП с ОГ легковых автомобилей типа ГАЗ: ● – метан, ★ – бензин А-76, ▲ – бензин АИ-93

В табл. 3 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 (природ-

ный газ, бензоводородные смеси и др.) приводит к снижению уровней выбросов NO<sub>x</sub>, БП и ТЧ с ОГ автомобилей.

Таблица 3 Экспериментальные данные

№ п/п	Моторные топлива	$m_{CO}$	$m_{CH}$	$m_{NO_x}$	$m_{БП} \times 10^6$
		г/км			
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 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ≈ 0,1.

На основе экспериментальных данных предложен удельный интегральный показатель экологохимической опасности (ЭХО)<sub>ж</sub> легковых автомобилей и критерий соответствия их интегральных экологохимических показателей международным нормам  $K_j = (\text{ЭХО})_j / [(\text{ЭХО})_j]$  с учетом санитарно-гигиенических нормативов для токсичных и канцерогенных ингредиентов [ПДК<sub>г</sub>]<sub>ср</sub>, 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 [2, 4, 7]:  $k_{NO_x} = 3$ ;  $k_{БП} = 4$ ;  $k_{КУ} = 4 \cdot 1,3 = 5,2$ . При этом интегральный показатель (ЭХО)<sub>б</sub> для ДВС с принудительным воспламенением горючих смесей представлен следующим образом:

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

Допускаемый по Европейским нормам показатель [ЭХО]<sub>б</sub> оценивался как

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

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

$$[\text{ПДК}_{\text{NO}}]_{\text{cc}} = 0,06 ; [\text{ПДК}_{\text{NO}_2}]_{\text{cc}} = 0,04 ;$$

$$[\text{ПДК}_{\text{БП}}]_{\text{cc}} = 10^{-6} \text{ мг/м}^3 .$$

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

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

Обобщенные экологохимические показатели и долевое участие  $i$ -х ВВ в экологохимической опасности исследуемых легковых автомобилей при использовании различных топлив представлены в табл. 4, из которой следует, что доля (СО + СН) в рассматриваемом показателе не превышает для используемых бензинов 2 %, а для остальных топлив – не более 6 %. Расчетные данные по граничным значениям  $[\text{ЭХО}]_{\text{Б}}$  и  $[m_{\text{БП}}]_{\text{Б}}$ , а также по критериям экологохимической опасности ( $K_{\text{Б}}$ ) исследуемых легковых автомобилей приведены в табл. 5.

Таблица 4 Экологохимические показатели исследуемых автомобилей

Моторные топлива (см.табл.3)	$(\text{ЭХО})_{\text{Б}} \cdot 10^{-3}$ , $\text{нм}^3/\text{км}$	$(\text{ЭХО})_i / (\text{ЭХО})_{\text{Б}}$ , %		
		СО+СН	$\text{NO}_x$	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 5 Граничные и относительные экологохимические показатели автомобилей

Моторные топлива (см.табл.3)	Евро-II	Евро-III	Евро-IV	Евро-V
	$[\text{ЭХО}] \cdot 10^{-3}$ , $\text{нм}^3/\text{км}$ / $[m_{\text{БП}}] \cdot 10^6$ , г/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

## Выводы

На основании результатов проведенных исследований легковых автомобилей можно сделать следующие выводы:

1. При использовании в ДВС легковых автомобилей различных углеводородных топлив наиболее вредными ингредиентами, выбрасываемыми с ОГ двигателей, являются  $\text{NO}_x$  и КУ, которые в условиях городской среды синтезируют предельно опасные для человека нитроканцерогенные вещества, обладающие мутагенными свойствами. При этом мелкодисперсные ТЧ являются их носителями и существенно усиливают их агрессивность. Повышенное содержание АУ, характерное для современных нефтяных топлив, резко усиливает эту закономерность.

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

3. Для повышения экологической безопасности легковых автомобилей с ДВС необходимо:

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

– 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  $\text{NO}_x$ ;

– для снижения выбросов  $\text{NO}_x$  с ОГ автомобилей рациональным является использование современных восстановительных нейтрализаторов накопительного типа;

– 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.

### 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. Интегральные эколого-химические показатели автомобилей с поршневыми двигателями / П.М. Канило, М.В. Сарапина // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2007. – Вып. 20. – С. 68–74.
3. Стуруа Мэлор. Жизнь после нефти: альтернативные источники энергии. [Электронный ресурс] / Мэлор Стуруа, Ф. Чайка, С. Лесков // Известия науки. – 22.03.2007. – С. 1 – 4. – Режим доступа к журн.: [www.inaika.ru](http://www.inaika.ru).
4. Канило П.М. Эколого-экономический анализ эффективности использования газообразных энергоносителей в автомобильном транспорте / П.М. Канило, К.В. Костенко, М.В. Сарапина, М.А. Костыркин // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2007. – Вып. 21. – С. 98–107.
5. Канило П.М. Природный газ – наиболее эффективный заменитель нефтяных топлив на автотранспорте / П.М. Канило, Ф.И. Абрамчук, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2008. – Вып. 22. – С. 86 – 92.
6. Кузык Б. Н. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике / Б. Н. Кузык, Ю. В. Яковец. – М.: Ин. эконом. стратегий, 2007. – 400 с.
7. Канило П.М. Анализ эффективности и перспектив применения водорода в автомобильном транспорте / П.М. Канило, М.В. Шадрин // Проблемы машиностроения. – 2006. – Т.9, № 2. – С. 79-85.
8. Канило П.М. Перспективы становления водородной энергетике и транспорта / П.М. Канило, К.В. Костенко // Автомоб. транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2008. – Вып. 23 – С. 107–113.
9. Степанов С.Г. Тенденции развития и новые инженерные решения в газификации угля / С.Г. Степанов // Уголь. – 2002. – № 11. – С. 87 – 92.
10. Петров Р.Л. Германия: Экологический рейтинг автомобилей / Р.Л. Петров // Автомоб. промышленность. – 2001. – № 7. – С. 35–39.
11. 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.

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

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2010 г.