

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Овчаров Олександр Володимирович

УДК 621.43:068.4

ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ КАНЦЕРОГЕННИХ РЕЧОВИН
З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ
АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ

05.05.03 – теплові двигуни

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2000

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті проблем машинобудування (ІПМаш)
ім. А.М.Підгорного НАН України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Каніло Павло Макарович, Інститут проблем
машинобудування НАН України, провідний
науковий співробітник.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Говоруценко Микола Якович, Харківський
державний автомобільно-дорожній технічний
університет, завідувач кафедри "Експлуатація
автомобільного транспорту".

кандидат технічних наук
Парсаданов Ігор Володимирович, Харківський
державний політехнічний університет, доцент
кафедри "Двигуни внутрішнього згоряння".

Провідна установа: Головне спеціалізоване конструкторське бюро з
двигунів середньої потужності, конструкторсько-
випробувальний відділ робочих процесів двигунів,
Державний комітет промислової політики
міністерства економіки України, м. Харків.

Захист відбудеться " ____ " _____ 2000 р. о ____ годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.03 при
Харківській державній академії залізничного транспорту
за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці
Харківської державної академії залізничного транспорту:
61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2000 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Лялюк В.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Зараз у світі експлуатується 500 млн. автомобільних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), з яких приблизно 400 млн. (в основному бензинових) встановлено на легкових автомобілях. Автомобілізація, як складова технічного прогресу, має істотні негативні наслідки: ДВЗ є основними споживачами нафтового палива та найбільш істотними джерелами забруднення навколишньої атмосфери токсичними й особливо канцерогенними речовинами, що викидаються з відпрацьованими газами (ВГ). При цьому проблема канцерогенного забруднення є найбільш гострою та найменш вирішеною.

До цього часу в ВГ автомобільних ДВЗ ідентифіковано близько 400 канцерогенних інгредієнтів. З них вченими виокремлена пріоритетна група поліароматичних вуглеводнів (ПАВ), до якої включено бенз(а)пірен (БП), що має найбільший індекс канцерогенної активності (ІКА). Саме для БП встановлено обмеження за його вмістом в атмосфері населених пунктів – середнедобова гранично допустима концентрація $[ГДК_{БП}]_{сд} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ мг/м}^3$. Аналіз забруднення атмосфери міст з інтенсивним автомобільним рухом показав, що на першому місці за рівнем перевищення ГДК є БП. Додатково встановлено, що за взаємодії канцерогенних вуглеводнів з оксидами азоту синтезуються значно більш шкідливі для людини нітроканцерогенні речовини, котрі мають мутагенні властивості.

Однак до цього часу практично відсутні надійні дані за рівнями викидів канцерогенних речовин з ВГ автомобільних ДВЗ, в тому числі при використанні різних палив, способів запалювання горючої суміші та систем термokatалітичної нейтралізації ВГ. У цій роботі, ґрунтуючись на проведених дослідженнях, дається комплексна оцінка екологохімічних показників різних модифікацій автомобільних бензинових ДВЗ і рекомендовано шляхи зниження викидів канцерогенних речовин з відпрацьованими газами.

Актуальність теми дисертації визначається тим, що вона спрямована на покращення екологічних показників автомобільних ДВЗ, які є одними з основних забруднювачів атмосферного повітря.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконана відповідно до науково-технічних програм по створенню принципово нових зразків екологічно чистого теплоенергетичного обладнання та двигунів, затверджених постановами ВФТПЕ НАН України, протоколи: № 8 від 03.12.1990 р. та № 2 від 05.03.1996 р.

Мета та задачі дослідження. Метою дисертації є покращення екологічних показників автомобільних бензинових ДВЗ за рахунок зниження викидів з ВГ канцерогенних речовин. Для досягнення поставленої мети розв'язувались такі задачі:

- удосконалення систем вимірювання рівнів викиду канцерогенних речовин з ВГ автомобільних ДВЗ, в тому числі під час їх випробування спільно з автомобілем за їздовим циклом;
- проведення комплексних екологічних досліджень ряду модифікацій ДВЗ;
- оцінка ефективності заходів, розробка методичних принципів і рекомендацій, спрямованих на зниження викиду канцерогенних речовин з ВГ автомобільних бензинових ДВЗ.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розроблена оригінальна методика комплексного аналізу канцерогенності ВГ автомобільних бензинових ДВЗ.
2. Уперше, на основі отриманих експериментальних даних, встановлено, що бенз(а)пірен є надійним індикатором пріоритетної групи ПАВ і сумарної канцерогенності ВГ бензинових ДВЗ.
3. Запропоновано інтегральний показник для екологохімічної оцінки автомобільних бензинових ДВЗ.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Удосконалено та впроваджено надійні системи уловлювання бенз(а)пірену та складових пріоритетної групи ПАВ з ВГ автомобільних ДВЗ.
2. Отримано кореляційні залежності, що зв'язують рівні викиду інгредієнтів із пріоритетної групи ПАВ, а також сумарну канцерогенність ВГ автомобільних бензинових ДВЗ з масовим рівнем викидів БП.
3. На основі проведених досліджень встановлено, що використання рідких палив з більш низьким вмістом ароматичних вуглеводнів і газового палива, підвищення якості сумішоутворення в циліндрах ДВЗ, застосування форкамерно-факельного запалювання горючих сумішей та систем термokatалітичної нейтралізації ВГ, а також практична реалізація заходів, спрямованих на зниження експлуатаційних витрат палива, є ефективним засобом зниження викидів канцерогенних речовин з ВГ автомобільних ДВЗ.
4. Розроблена і впроваджена оригінальна методика комплексної оцінки рівнів компенсацій за шкоду, пов'язану з викидами канцерогенних і токсичних компонентів з ВГ автомобільних ДВЗ.

Особистий внесок здобувача.

1. Провів чисельні дослідження термодинамічно рівноважних рівнів утворення БП під час спалювання різного виду палива, оцінив вплив на цей процес локального перебагачення горючої суміші та тиску газу.
2. Розробив схеми комбінованих систем уловлювання канцерогенних вуглеводнів із відпрацьованих газів ДВЗ.
3. Встановив кореляційні залежності між рівнями БП і складовими пріоритетної групи ПАВ, що викидаються з ВГ бензинових ДВЗ.

4. Запропонував інтегральний показник для екологіхімічної оцінки автомобільних бензинових ДВЗ та ефективності заходів, що пропонуються.
5. Розробив методикау комплексної оцінки рівнів платежів за викиди канцерогенних і токсичних речовин з ВГ автомобільних ДВЗ.

Апробація результатів досліджень. Основні результати роботи доповідались на наукових семінарах ПМаш та Північно-Східного наукового центру НАН України у 1997–2000 рр., на третьому конгресі двигунобудівників України (Київ–Харків–Рибаче), 1998 р., на науково-практичній конференції "Системотехніка на автомобільному транспорті", м. Харків, 1999 р., на наукових семінарах ряду кафедр ХДАДТУ і ХДПУ, м. Харків, 2000 р.

Публікації. Основні положення дисертації викладено у семи статтях.

Структура роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 140 сторінок, з яких ілюстрації 29 сторінок (30 рисунків), таблиць 23 сторінки (27 таблиць), додатків 9 сторінок (6 додатків), список літературних джерел 12 сторінок (143 найменування).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкривається стан проблеми, сформульовано мету досліджень та обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи.

У **першому розділі** розглянуті основні паливно-екологічні проблеми автомобільних ДВЗ. Проаналізовано шляхи вирішення проблеми зниження викидів канцерогенних речовин з відпрацьованими газами ДВЗ, пов'язаних з розробкою та реалізацією ряду технічних, економічних та організаційних заходів, в тому числі – з виробництвом і використанням більш якісного рідкого палива, а також поширенням застосування газового палива.

У **другому розділі** наведено дані по пріоритетній групі ПАВ і БП, в тому числі розглянуті механізми утворення БП під час спалювання палива.

Для визначення рівнів рівноважних концентрацій бенз(а)пірену в продуктах спалювання палив було виконано термодинамічний аналіз, з якого випливає, що рівноважні концентрації БП істотно зростають за збагачення горючої суміші та підвищення тиску газу, що може підтвердити локальну природу утворення канцерогенних ПАВ при розкладанні вуглеводневого палива без доступу кисню. Мінімальні рівні утворення БП спостерігаються під час спалювання природного газу. Тому підвищений вміст ароматичних вуглеводнів в паливі і просторова неоднорідність горючих сумішей можуть створювати сприятливі умови для утворення ПАВ.

Для експериментального дослідження закономірностей утворення та вигорання компонентів ПАВ було удосконалено та відпрацьовано комбіновані

системи їх уловлювання з продуктів спалювання палива, а також – методи кількісного визначення. На рис. 1 наведено розроблену комбіновану систему уловлювання ПАВ (ступінь уловлювання БП – $\varphi \geq 99\%$).

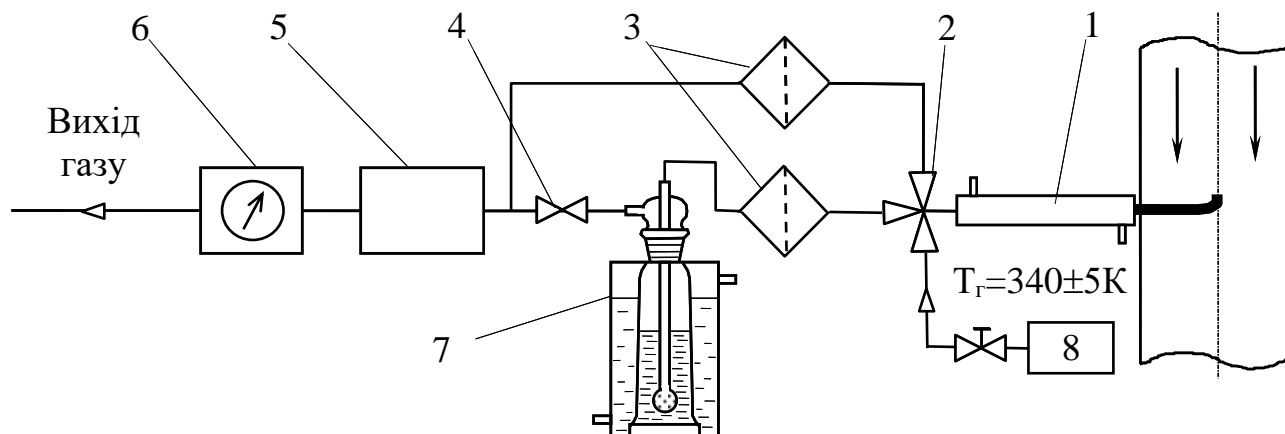


Рис. 1. Система уловлювання БП: 1 – водоохолоджувальний газовідбірник; 2 – трипозиційний кран; 3 – фільтротримачі; 4 – кран голчастий; 5 – насос-збудник витрат; 6 – лічильник газовий; 7 – водоохолоджувальний бензольний уловлювач; 8 – система подачі стиснутого повітря через газовідбірник.

Для повного екстрагування складових ПАВ із фільтрів останні поміщались у стакан із нержавіючої сталі з бензолом і використовувалась ультразвукова установка УЗУ-0,25 з частотою коливань 18 кГц. Потім екстракти зазнавали хроматографічного фракціонування із застосуванням адсорбційної хроматографії у тонкому шарі. Якісне та кількісне визначення вмісту БП і ПАВ у відібраних пробах здійснювалось методом спектрально-флуоресцентного аналізу з використанням спектрометра комбінаційного розсіювання типу ДФС-24 з фотоелектронним помножувачем ФЕУ-17А. Сумарна похибка вимірювання БП і пріоритетної групи ПАВ під час проведення експериментальних досліджень не перевищувала $\pm 10\%$.

Експериментально були визначені рівні концентрацій БП і ПАВ в метано-повітряному факелі, а також у ВГ одноциліндрового відсіку бензинового ДВЗ при його стендових випробуваннях. Дослідженнями встановлено, що максимальні концентрації БП утворюються на початку факела, потім БП інтенсивно вигорає при $T_{\text{ф}} \geq 1800\text{ K}$. Характер зміни концентрацій БП і пріоритетної групи ПАВ є практично ідентичним.

На рівні викидів БП та інших ПАВ істотно впливає вид використовуваних палив, особливо наявність в них багатоядерних ароматичних вуглеводнів, склад і спосіб запалювання горючої суміші, ступінь стискання та частота обертання ДВЗ, а також якість функціонування систем двигуна, особливо його системи запалювання.

У третьому розділі описується методика комплексного аналізу ефективності заходів по зниженню рівнів викиду канцерогенних речовин з ВГ бензинових двигунів, що включає дослідження паливно-екологіхімічних показників ДВЗ при їх спільному випробуванні з автомобілем на стенді з біговими барабанами за Європейським їздовим циклом. Для проведення таких досліджень була розроблена, виготовлена та попередньо випробувана комбінована повнопоточна система уловлювання БП та ПАВ з ВГ автомобільних ДВЗ (див. рис. 2), а для визначення рівнів їх концентрацій використовувалась методика спектрально-флуоресцентного аналізу.

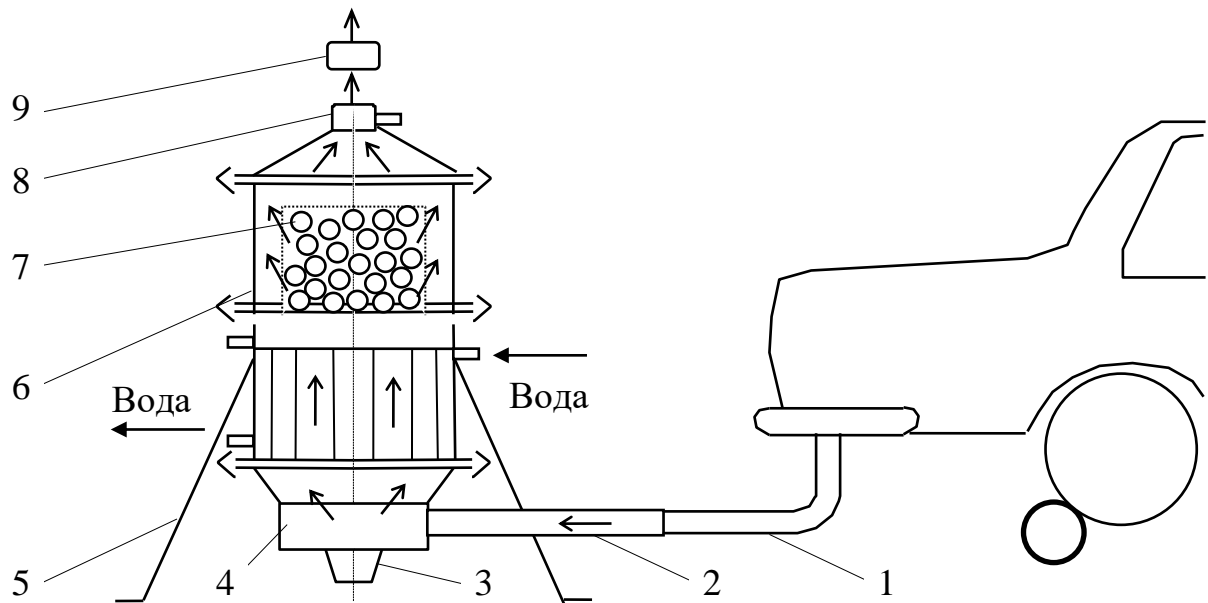


Рис. 2. Повнопоточна система уловлювання ПАВ з ВГ автомобільних двигунів: 1 – вихлопна труба; 2 – вхідний патрубок системи відбору; 3 – конденсатівідбірник; 4 – водяний холодильник; 5 – стояк кріплення системи; 6 – фільтраційна камера; 7 – фільтруючий елемент; 8 – вихідний патрубок; 9 – бензольний уловлювач.

За зазначеною методикою на декількох модифікаціях бензинових ДВЗ типу ЗМЗ були визначені рівні масових викидів усіх інгредієнтів пріоритетної групи ПАВ (див. табл. 1) і чисельно встановлені такі кореляційні залежності (індекси при m_i відповідно до табл. 1):

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 6,2 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,06}, & m_2 &= 8,6 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,07}, & m_3 &= 0,55 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,22}, \\
 m_4 &= 2,46 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,24}, & m_5 &= 0,94 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,2}, & m_6 &= 0,59 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,17}, \\
 m_8 &= 0,59 \cdot (m_{\text{БП}})^{0,87}, & m_9 &= 0,37 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,22}, & m_{10} &= 0,36 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,23}, \\
 m_{11} &= 0,94 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,2}, & m_{12} &= 0,69 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,06}; \\
 M_{\Sigma\text{ПАВ}} &= 22,85 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,11} \text{ (або після лінеаризації } M_{\Sigma\text{ПАВ}} = 34,6 \cdot m_{\text{БП}}),
 \end{aligned}$$

$$M_{\Sigma\text{ПАВ(К)}} = 5,8 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,2} \text{ (або } M_{\Sigma\text{ПАВ(К)}} = 11,93 \cdot m_{\text{БП}}),$$

$$\Sigma\text{КА}_{(\text{ВГ})} = 1,12 \cdot (m_{\text{БП}})^{1,04} \text{ (або } \Sigma\text{КА}_{(\text{ВГ})} = 1,28 \cdot m_{\text{БП}}), \text{ мкг/вип.}$$

Коефіцієнти кореляції відповідають $r = 0,99 - 1,0$.

Таблиця 1

Рівні викидів складових пріоритетної групи ПАВ

№	Пріоритетна група ПАВ (ІКА)	Паливо (тип займання)								
		Бензин А-76 (І)			Бензин АИ-93 (І)			Бензин А-76 (Ф-Ф)		
		\bar{m} ,	\bar{m}' ,	δ ,	\bar{m} ,	\bar{m}' ,	δ ,	\bar{m} ,	\bar{m}' ,	δ ,
		мкг	мкг	%	мкг	мкг	%	мкг	мкг	%
		вип	вип		вип	вип		вип	вип	
1	Флуорантен (<0,01)	196	198	-1	282	280	+0,7	27	27	0
2	Пірен (< 0,01)	282	282	0	400	400	0	38	38	0
3	Бенз(а)антрацен (0,01)	29	30	-3,5	45	44	+2,2	3	3	0
4	Хризен (0,01)	140	145	-3,5	223	217	+2,2	14	14	0
5	Бенз(в)флуорантен (0,1)	48	48	0	71	71	0	5	5	0
6	Бенз(е)пірен (< 0,01)	28	27	+3,5	39	40	-2,5	3	3	0
7	Бенз(а)пірен (1,0)	26	26	0	36	36	0	4	4	0
8	Перилен (< 0,01)	10	10	0	14	14	0	2	2	0
9	Инденопірен (< 0,01)	20	20	0	29	29	0	2	2	0
10	Дибенз(а,һ)антрацен(<0,01)	19	20	-5	31	30	+3	2	2	0
11	Бенз(ɡ,һ,і)перилен (0,01)	47	48	-2	71	70	+1,5	5	5	0
12	Коронен (< 0,01)	24	23	+4	30	31	-3	3	3	0
	$\Sigma\text{ПАВ}$	869	877	-1	1271	1262	+1	108	108	0
	$\Sigma\text{ПАВ(К)}$	290	296	+2	446	438	+2	31	31	0
	$\Sigma\text{КА}_{(\text{ВГ})}$	33	33,1	-0,3	46,5	46,4	+0,3	4,8	4,7	+1

Тут ІКА – індекс канцерогенної активності (до канцерогенних віднесено ПАВ(К) з ІКА $\geq 0,01$); \bar{m} – експериментально отримані усереднені значення рівнів викидів компонентів пріоритетної групи ПАВ з ВГ бензинових ДВЗ при їх випробуванні за Європейським їздовим циклом, мкг/вип; \bar{m}' – розрахункові значення рівнів викидів компонентів ПАВ, отримані по кореляційних залежностях, мкг/вип; $\delta = [(\bar{m} - \bar{m}') / \bar{m}] \cdot 100$ – відносний рівень відхилення експериментальних і розрахункових даних, %; $\Sigma\text{КА}_{(\text{ВГ})} = \Sigma(\text{ІКА}_i \cdot \bar{m}_i)$ – канцерогенна активність ВГ (для компонентів пріоритетної групи ПАВ_i з ІКА_i $\geq 0,01$); І, Ф-Ф – відповідно іскрове і форкамерно-факельне запалювання бензоповітряної суміші.

Наведені емпіричні залежності дозволяють за виміряними масовими

рівнями викиду БП оцінювати рівні викиду будь-якого інгредієнта з пріоритетної групи ПАВ, їх окремих підгруп, а також сумарну канцерогенність ВГ бензинових ДВЗ. Результати досліджень дають підставу стверджувати, що БП є надійним індикатором решти інгредієнтів пріоритетної групи ПАВ, сумарних рівнів їх викиду та канцерогенності ВГ автомобільних бензинових ДВЗ.

Програмою випробувань було передбачено також дослідження екологічних показників восьми модифікацій автомобільних бензинових ДВЗ типу ЗМЗ. Рівні викидів з ВГ досліджуваних ДВЗ токсичних речовин і БП наведено в табл. 2. Там же наведено дані по умовних показниках забрудненості ВГ і-м інгредієнтом $Z_i = 10^3(M_{i(\text{вип})} / [\text{ГДК}_i]_{\text{сд}})$, м³/вип; а також показники сумарної забрудненості ВГ ДВЗ

$$\sum Z_{ij} = 10^3 \sum (M_{ij(\text{вип})} / [\text{ГДК}_i]_{\text{сд}}), \text{ м}^3/\text{вип.}$$

Таблиця 2

Рівні викидів шкідливих речовин за випробування
і показники забрудненості ВГ бензинових двигунів

Тип ДВЗ	СО		СН		NO ₂		SO ₂		БП		Усього:	
	г/вип	Z _j (10 ⁻³)	г/вип	Z _j (10 ⁻³)	г/вип	Z _j (10 ⁻³)	г/вип	Z _j (10 ⁻³)	г/вип (10 ⁶)	Z _j (10 ⁻³)	г/вип	ΣZ _{ij} (10 ⁻³)
1	27,4	9,1	9,2	6,1	9,6	240	0,14	2,8	36	36	45,8	296
2	19,8	6,6	9,7	6,5	9,0	225	0,1	2,0	25	25	38,6	265
3	3,2	1,1	4,2	2,8	9,4	235	—	—	1,1	1,1	16,8	240
4	10,7	3,6	7,9	5,3	4,8	120	0,1	2	4	4	23,5	135
5	6,8	2,3	8,4	5,6	3,7	92,5	—	—	3,3	3,3	18,9	104
6	0,7	0,2	2,4	1,6	3,9	97,5	—	—	0,7	0,7	7,0	100
7	2,0	0,7	1,5	1,0	3,0	75	—	—	0,8	0,8	6,5	78
8	1,1	0,4	0,9	0,6	0,3	7,5	—	—	2,9	2,9	2,3	11

Тут 1 – бензиновий ДВЗ типу ЗМЗ–402.10 (бензин АИ-93, І); 2 – ДВЗ типу ЗМЗ-4021.10 (бензин А-76, І); 3 – ДВЗ типу ЗМЗ-4021.10 (ОСНВГ, І); 4 – ДВЗ типу ЗМЗ–4022.10 (Ф-Ф); 5 – ДВЗ типу ЗМЗ-4027.10 (пропан-бутан, І); 6 – ДВЗ типу ЗМЗ-4027.10 (пропан-бутан, І, ОСНВГ); 7 – ДВЗ типу ЗМЗ-4022.10 (Ф-Ф, ОСНВГ); 8 – ДВЗ типу ЗМЗ-4021.10 (І, БСНВГ); І, Ф-Ф – іскрове і форкамерно-факельне запалювання горючої суміші; ОСНВГ, БСНВГ – відповідно окислювальна та біфункціональна системи нейтралізації ВГ.

На рис. 3 наведено узагальнені дані по відносних показниках екологічної шкідливості ВГ досліджуваних восьми модифікацій бензинових ДВЗ

$$\overline{\text{ЄШ}}_{\text{ВГ}} = \sum Z_{ij} / \max(k) \sum Z_{ik}$$

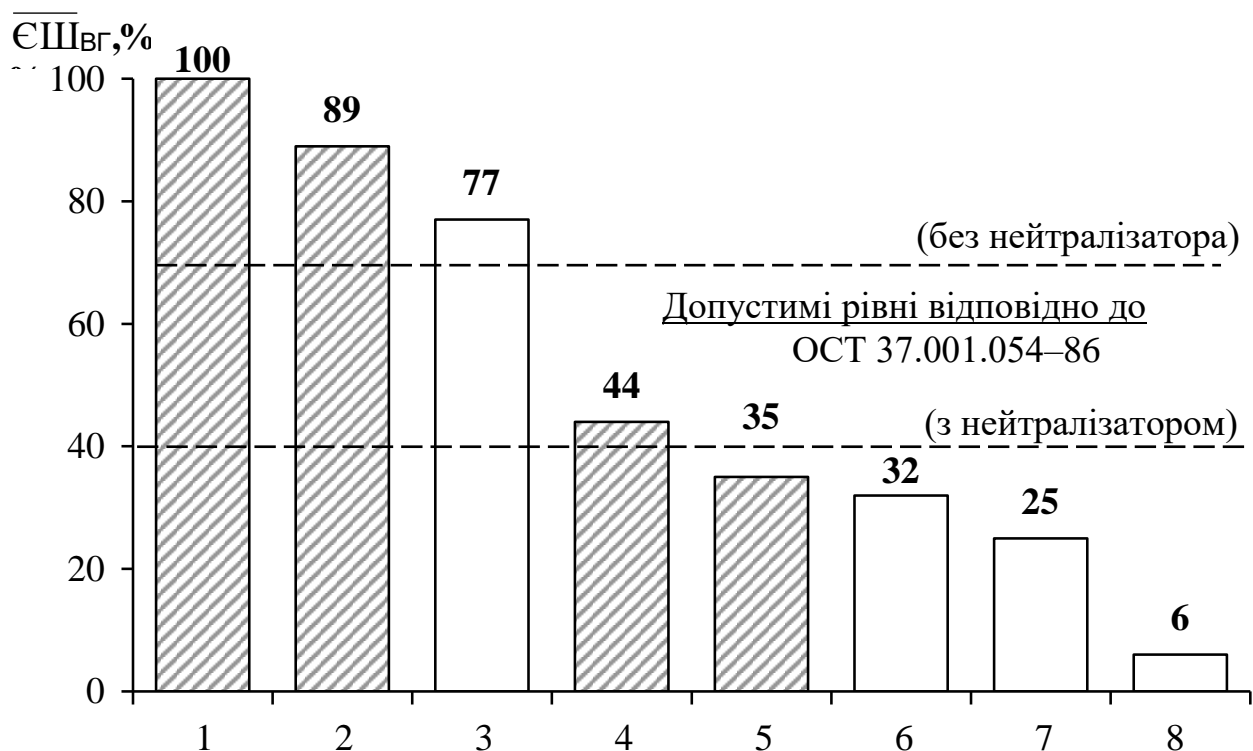


Рис. 3. Відносні показники екологіхімічної шкідливості ВГ досліджуваних двигунів типу ЗМЗ: ▨ – без нейтралізаторів; □ – з нейтралізаторами ВГ.

Із наведених даних випливає:

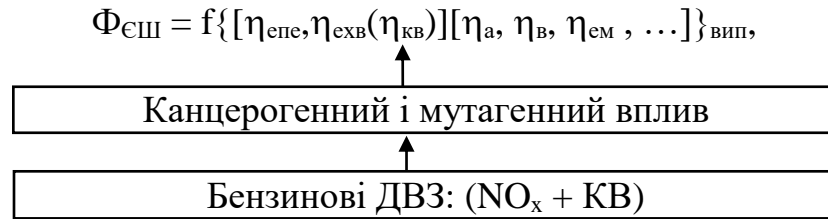
- максимальний показник екологіхімічної шкідливості ВГ бензинових ДВЗ відповідає базовій модифікації (бензин АИ-93, І);
- спостерігається практично пропорціональний зв'язок між рівнями викидів БП з відпрацьованими газами бензинових ДВЗ та масовою долей ароматичних вуглеводнів (g_{AB} , %) в досліджуваних паливах

$$m_{BP} = 0,87 g_{AB} + 3,3 \text{ мкг/виі};$$

- екологіхімічна шкідливість ВГ бензинових ДВЗ в основному визначається рівнями викидів NO_x і БП, а сумарна частка оксиду вуглецю (СО) та незгорівших (неканцерогенних) вуглеводнів (СН) в зазначеній шкідливості ВГ не перевищує 6 % – $[(3_{CO} + 3_{CH}) / \sum 3_i] \cdot 100 \leq 6 \%$;
- істотне зниження (майже на порядок) канцерогенності ВГ бензинових ДВЗ забезпечується при використанні газових палив і форкамерно-факельного запалювання бензоповітряної суміші;
- системи каталітичної нейтралізації значним чином (у 10–30 разів) знижують канцерогенність ВГ бензинових ДВЗ, однак БСНВГ є більш ефективною – внаслідок істотного зниження також рівнів викиду NO_x .

В четвертому розділі наведено результати аналізу ефективності заходів і рекомендації по зниженню викидів канцерогенних речовин з ВГ автомобільних бензинових ДВЗ.

Екологічний вплив автомобільних ДВЗ на людину та навколишнє середовище можна подати таким чином:



де $\eta_{\text{епе}}$, $\eta_{\text{ехв}}(\eta_{\text{кв}})$, $\eta_{\text{а}}$, $\eta_{\text{в}}$, $\eta_{\text{ем}}$ – відносні показники, відповідно, експлуатаційної паливної економічності (термічне забруднення навколишнього середовища), екологіхімічного впливу (визначальним в якому є канцерогенний – $\eta_{\text{кв}}$), акустичного, вібраційного, електромагнітного та іншого негативного впливу; КВ – канцерогенні вуглеводні.

На основі отриманих результатів запропоновано інтегральний показник для порівняльної екологіхімічної оцінки автомобільних ДВЗ, а також – ступеня ефективності удосконалень двигунів, що пропонуються

$$\Phi_j = 10^{-3} \left\{ \left(\frac{M_{\text{CO}}}{[\text{CO}]} + \frac{M_{\text{CH}}}{[\text{CH}]} + a \frac{M_{\text{NO}_2}}{[\text{NO}_2]} + b \frac{M_{\text{CЖ}}}{[\text{CЖ}]} \right) + \left(c \frac{M_{\text{SO}_2}}{[\text{SO}_2]} + d \frac{\Sigma \text{КА}_{(\text{ВГ})}}{[\text{БП}]} \right) \right\}_{\text{вип}},$$

де $[i] = [\text{ГДК}_i]_{\text{сд}}$; $a = 3$, $b = 3$, $c = 2$, $d = 4$ – коефіцієнти, що враховують подальше посилення сумарного впливу токсичних і канцерогенних речовин, які викидаються з ВГ автомобільних ДВЗ, на людину; множники 10^{-3} і 10^{-6} – введені для зниження розмірності показника Φ_j .

Відносні екологіхімічні показники досліджуваних восьми модифікацій автомобільних бензинових ДВЗ наведено на рис. 4.

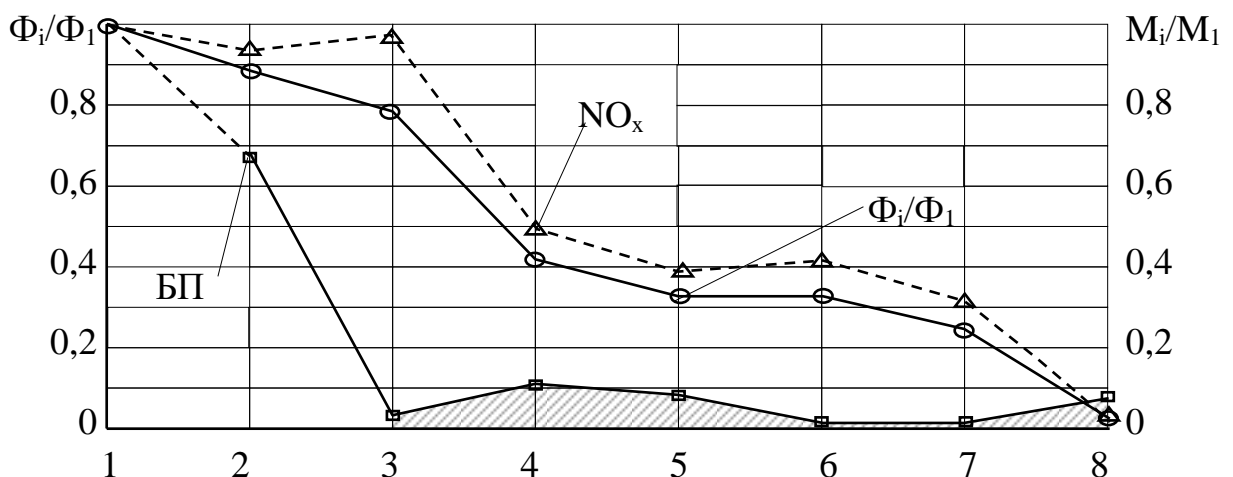


Рис. 4. Відносні екологіхімічні показники досліджуваних автомобільних бензинових двигунів типу ЗМЗ (номери модифікацій ДВЗ – див. табл. 2, M_i/M_1 – відносні масові викиди шкідливих речовин з ВГ ДВЗ за випробування).

Із наведених даних випливає, що при використанні в автомобільних ДВЗ газового палива, форкамерно-факельного запалювання горючих сумішей і систем термokatалітичної нейтралізації ВГ рівні викиду канцерогенних речовин знижуються на порядок і більше. Особливо істотно знижуються рівні викиду БП при спільному використанні газового палива або форкамерно-факельного запалювання з окислювальними системами термokatалітичної нейтралізації ВГ. Максимальне зниження рівнів викиду NO_x з ВГ і сумарного екологічного показника ДВЗ забезпечується застосуванням біфункціональної системи нейтралізації ВГ. При цьому використання форкамерно-факельного запалювання замість іскрового, пропан-бутану замість бензину АИ-93 та біфункціональної системи каталітичної нейтралізації ВГ приводить до поліпшення екологічного показника бензинового ДВЗ типу ЗМЗ відповідно в 2,5; 3 і 25 разів, а рівні викидів БП знижуються відповідно в 9, 11 і 12 разів.

Для оцінки рівнів платежів за збитки, пов'язані з забрудненням атмосфери токсичними та канцерогенними інгредієнтами, що викидаються з ВГ автомобільних ДВЗ, було розроблено методика, яка враховує отримані результати випробувань двигунів. Річні рівні викидів шкідливих речовин з ВГ автомобільних ДВЗ визначались по залежності

$$M_{ij} = 10^{-3} \cdot m_{i1} \cdot L_j \cdot K_{тс}, \text{ т/рік},$$

де m_{i1} – питомі викиди i -ї шкідливої речовини на один км пробігу автомобіля (визначаються по даних випробувань ДВЗ спільно з автомобілем за їздовий цикл), г/км; L_j – річний пробіг автомобіля j -ї групи, тис.км; $K_{тс}$ – коефіцієнт, що враховує технічний стан ДВЗ (при терміновій експлуатації ДВЗ до двох років $K_{тс} = 1,0$).

Визначення річних рівнів платежів (екокомпенсацій) за забруднення атмосфери шкідливими речовинами здійснювалось по залежностях

$$P'_{aa} = K_T \cdot K_{інд.} \cdot K_{пi} \sum_{i=1}^n (M_{ij} \cdot H'_i), \text{ грн/рік};$$

$$H'_i = a_i \cdot b_i \cdot H_{CO}, \text{ грн/т}; a_i = [\text{ГДК}_{CO}]_{сд} / [\text{ГДК}_i]_{сд},$$

де K_T – коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості населеного пункту (для м. Харкова $K_T = 2,25$); $K_{інд.}$ – коефіцієнт індексації (для м. Харкова в 1999 р. $K_{інд.} = 1,8$); $K_{пi}$ – коефіцієнт кратності плати ($1 \leq K_{пi} \leq 5$) за гранично небезпечні шкідливі речовини (ШР), які визначають високу забрудненість атмосфери міста; H_i, H'_i – прийняті раніш і питомі нормативи плати, що пропонуються та визначаються з урахуванням відносної шкідливості i -ї ШР та явищ синергізму; b_i – коефіцієнти, що приймаються на основі експертних оцінок (з урахуванням посилення сумарного впливу ШР на людину). Необхідні дані для розрахунку H'_i наведено в табл. 3.

Дані по ШР та питомі нормативи плати за їх шкідливість

Показники	Шкідливі інгредієнти					
	СО	СН	SO ₂	NO ₂	С _ж	БП
[ГДК _i] _{сд} , мг/м ³	3	1,5	0,05	0,04	0,05	1·10 ⁻⁶
Клас небезпеки	4	4	2	2	2	1
H _i , грн/т	2	3	53	53	2	67871
a _i	1	2	60	75	60	3·10 ⁶
b _i	1	1	2	3	3	4
H' _i , грн/т	2	4	240	450	360	24·10 ⁶

Розрахункові дані за річними рівнями екокомпенсацій для двох досліджуваних автомобільних ДВЗ наведено нижче.

При $K_{\pi} = 1$:

$$P'_{aa}(1) \cong 620, \quad P'_{aa}(8) \cong 25 \text{ грн/рік.}$$

При $K_{\pi} = 5$:

$$P'_{aa}(1) \cong 3100, \quad P'_{aa}(8) \cong 125 \text{ грн/рік,}$$

де (1), (8) – номери модифікацій досліджуваних ДВЗ (дивись табл. 2).

Відповідно до викладеного ранжуються послідовні раціональні шляхи зниження канцерогенності ВГ автомобільних бензинових ДВЗ:

1. Використання більш якісного рідкого палива (з мінімізацією вмісту ароматичних вуглеводнів, особливо високомолекулярних), а також більш широке застосування газового палива.
2. Підвищення культури експлуатації та підтримання технічного стану автомобільних ДВЗ на належному рівні.
3. Удосконалення конструкцій та оптимізація робочих процесів ДВЗ, пов'язаних з підвищенням якості розподілу палива по циліндрах і сумішоутворення в камерах згоряння, поєднання збіднених горючих сумішей з більш інтенсивними, наприклад форкамерно-факельним запалюванням, забезпечення високої паливної економічності за обмеженого росту (або навіть зниження) ступеня тиску та частоти обертання ДВЗ.
4. Впровадження електронних (бажано адаптивних) систем керування робочим процесом ДВЗ, а також термokatалітичних систем нейтралізації ВГ.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-технічну задачу, пов'язану з аналізом ефективності заходів та виробленням рекомендацій,

спрямованих на зниження рівнів викиду канцерогенних речовин з ВГ автомобільних бензинових ДВЗ. Основні результати виконаної роботи:

1. Удосконалено та впроваджено комбіновані, у тому числі повнопоточні, системи відбору та уловлювання бенз(а)пірену й інших ПАВ з відпрацьованих газів автомобільних двигунів.

2. Уперше отримано кореляційні залежності, що зв'язують рівні викиду будь-якого інгредієнта пріоритетної групи ПАВ або їх окремих підгруп, а також сумарну канцерогенність ВГ досліджуваних ДВЗ з масовим рівнем викиду БП. Останнє підтверджує, що БП є надійним індикатором пріоритетної групи ПАВ у ВГ автомобільних бензинових ДВЗ.

3. Запропонована оригінальна методика комплексної оцінки рівнів викиду канцерогенних і токсичних інгредієнтів з ВГ автомобільних ДВЗ та їх сумарної канцерогенності по результатах випробувань двигуна спільно з автомобілем на стенді з біговими барабанами за Європейським їздовим циклом.

4. За розробленою методикою проведено порівняльні екологічні дослідження ряду модифікацій автомобільних бензинових ДВЗ типу ЗМЗ. На основі результатів випробувань запропоновано інтегральний показник для порівняльної екологохімічної оцінки автомобільних ДВЗ.

5. Обґрунтовано методичні принципи та рекомендації, а також накреслено послідовні раціональні шляхи зниження рівнів викиду канцерогенних речовин з відпрацьованими газами автомобільних бензинових ДВЗ, які включають:

- практичну реалізацію заходів, спрямованих на підвищення експлуатаційної паливної економічності, а також на підтримання ДВЗ в технічно налагодженому стані;
- використання більш якісного рідкого палива (з мінімізацією вмісту ароматичних вуглеводнів, в першу чергу високомолекулярних), а також газоподібного палива як основного, так і додаткового енергоносія;
- забезпечення рівномірного розподілу палива по циліндрах ДВЗ і високоякісного сумішоутворення, запобігання локального перезбагачення горючих сумішей в камерах згоряння;
- поєднання збіднених горючих сумішей з інтенсивними, наприклад форкамерно-факельним запалюванням;
- впровадження систем термokatалітичної нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ (при цьому найбільша перевага надається застосуванню біфункціональних систем нейтралізації ВГ).

6. Розроблено комплексну методикау та проведено чисельний аналіз річних рівнів компенсацій за збитки, пов'язані з забрудненням навколишнього середовища канцерогенними і токсичними інгредієнтами, що викидаються з ВГ автомобільних бензинових ДВЗ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Канило П.М., Овчаров А.В. Комплексные экологические исследования легковых автомобилей с карбюраторными двигателями // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 3. – С. 37–43.
2. Канило П.М., Овчаров А.В. Эколого-экономический анализ эффективности применения бифункциональных аталитических нейтрализаторов отработавших газов ДВС на автотранспорте // Там же. – № 6. – С. 24–29.
3. Канило П.М., Овчаров А.В. Дизелизация автотранспорта и экологические проблемы городов: комплексные экоисследования автомобилей с разными двигателями внутреннего сгорания // Пробл. машиностроения. – 1998. – 1, № 2. – С. 102–108.
4. Канило П.М., Соловей В.В., Овчаров А.В. Принципы экологизации тепловых двигателей // Прогресс. Качество. Технология: Тр. Харьк. аэрокосм. ун-та им. Н.Е.Жуковского. – Харьков. – 1998. – С. 198–206.
5. Канило П.М., Овчаров А.В. Методология экологизации автомобилей // Системотехника на автомобильном транспорте: Материалы респ. науч.–практ. конф. – Харьков. – 1999. – С.17–25.
6. Канило П.М., Ровенский А.И., Овчаров А.В. Эколого-экономический анализ эксплуатационных показателей автомобилей с карбюраторными двигателями и дизелями / НАН Украины. Северо-Восточный научный центр. – Харьков. – 1997. – 22 с. – Метод. указания.
7. Канило П.М., Ровенский А.И., Овчаров А.В. Современные методы и средства экодиагностики автомобилей и их двигателей / НАН Украины. Северо-Восточный научный центр. – Харьков. – 1998. – 19 с. – Метод. указания.

АНОТАЦІЇ

Овчаров О.В. Зниження викидів канцерогенних речовин з відпрацьованими газами автомобільних бензинових двигунів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – теплові двигуни. – Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2000.

Дисертація присвячена розв'язанню важливої науково-технічної задачі, пов'язаної з вивченням, аналізом та вибором засобів, спрямованих на зниження канцерогенності відпрацьованих газів (ВГ) ДВЗ. Запропонована методика оцінки сумарної канцерогенності ВГ ДВЗ за результатами їх екодосліджень спільно з автомобілем на стенді з біговими барабанами за Європейським їздовим циклом. Удосконалені та використані повнопоточні комбіновані системи уловлювання БП з ВГ ДВЗ і відпрацьована методика їх кількісного визначення. Проведені комплексні дослідження восьми різних модифікацій бензинових ДВЗ типу ЗМЗ. Визначені кореляційні залежності, що зв'язують сумарну канцерогенність ВГ ДВЗ з масовим рівнем викиду БП за їздовий цикл.

Показана висока ефективність зниження канцерогенності ДВЗ при використанні газоподібних палив, форкамерно-факельного запалювання горючої суміші та термодаталітичних систем нейтралізації ВГ. Накреслені раціональні шляхи зниження канцерогенності ВГ автомобільних бензинових двигунів.

Ключові слова: ДВЗ, канцерогенність і нейтралізація ВГ, бенз(а)пірен, оксиди азоту, екологіхімічне забруднення атмосфери.

A.V.Ovcharov. Reduction of carcinogenic emission at exhaust gas of car petrol engines. –Manuscript.

Thesis for awarding candidate degree (Eng.) on speciality 05.05.03 – Thermal engines. – The Kharkov State Academy of a railroad transport, Kharkiv, 2000.

The thesis is devoted to solution of technological problem concerned studying, analysis, and means option in order to reduce the carcinogenicity of ICE WGs. An method for evaluation of the total carcinogenicity of ICE WGs according to European standart ecological examination of car on a bench with running drums. Full-flow combined systems for trapping $C_{20}H_{12}$ (BP) off ICE WGs are improved and introduced. An method for quantitative rating is worked through. The complex studies of 8 different types of ZMZ petrol ICEs are conducted. Correlation of the total carcinogenicity of ICE WGs and mass level of BP emission per running cycle is determined. It is shown that BP is a reliable indicator of carcinogenicity of ICE WGs. High efficiency of reduction of ICE carcinogenicity while gas fuel, fore-chamber-flame ignition of petrol-gas mixture, and thermo-catalitic neutralization system are used is shown. Rational ways of WG carcinogenicity reduction of car ICEs are stated.

Keywords: ICE, cancerogenicity and neutralization of WGs, BP, nitrogen oxides, eco-chemical atmosphere pollution.

Овчаров А.В. Снижение выбросов канцерогенных веществ с отработавшими газами автомобильных бензиновых двигателей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – тепловые двигатели. – Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2000.

Автомобильные ДВС являются одними из основных потребителей нефтяных топлив, наиболее существенными источниками загрязнения атмосферы городов вредными веществами, выбрасываемыми с отработавшими газами (ОГ). Анализ загрязненности атмосферы городов с интенсивным автомобильным движением показал, что на первом месте по уровню превышения ПДК находится бенз(а)пирен (БП). Установлено, что при взаимодействии канцерогенных углеводородов с оксидами азота синтезируются значительно более опасные для человека нитроканцерогенные вещества. Однако до настоящего времени практически отсутствуют надежные данные по уровням выбросов канцерогенных веществ с ОГ автомобильных ДВС, в том

числе при использовании различных топлив, способов воспламенения горючей смеси и систем каталитической нейтрализации ОГ.

Диссертация посвящена решению важной научно-технической задачи, связанной с изучением, анализом и выбором мероприятий, направленных на снижение выбросов канцерогенных веществ с ОГ автомобильных бензиновых ДВС. Усовершенствованы и внедрены комбинированные, в том числе полнопоточные, системы отбора и улавливания БП и других ПАУ из ОГ автомобильных ДВС и отработана методика их количественного определения. Предложена оригинальная методика комплексной оценки уровней выбросов канцерогенных и токсичных ингредиентов с ОГ ДВС и их суммарной канцерогенности по результатам испытаний двигателя совместно с автомобилем на стенде с беговыми барабанами по Европейскому ездовому циклу. Проведены комплексные экологические исследования восьми различных модификаций бензиновых ДВС типа ЗМЗ. Определены корреляционные зависимости, связывающие уровни выброса любого ингредиента из приоритетной группы ПАУ или их отдельных подгрупп, а также суммарную канцерогенность отработавших газов исследуемых ДВС с массовым уровнем выброса БП за ездовой цикл. Установлено, что бенз(а)пирен является надежным индикатором канцерогенности ОГ бензиновых ДВС.

На основании результатов проведенных испытаний предложен интегральный показатель для сравнительной экологохимической оценки автомобильных ДВС. Показана высокая эффективность снижения выбросов канцерогенных веществ с ОГ автомобильных бензиновых ДВС при использовании более качественных жидких, а также газовых топлив, форкамерно-факельного зажигания обедненных горючих смесей и термокаталитических систем нейтрализации ОГ.

Обоснованы методические принципы и рекомендации, а также намечены последовательные рациональные пути снижения уровней выбросов канцерогенных веществ с ОГ автомобильных ДВС, включающие: практическую реализацию мероприятий, направленных на повышение эксплуатационной топливной экономичности, а также на поддержание ДВС в технически исправном состоянии; использование более качественных жидких топлив, а также газообразных; обеспечение высококачественного смесеобразования и предотвращение локального переобогащения горючих смесей в камерах сгорания; сочетание обедненных горючих смесей с форкамерно-факельным зажиганием; внедрение систем термокаталитической нейтрализации ОГ ДВС.

Разработана комплексная методика и проведен численный анализ годовых уровней компенсаций за ущерб, связанный с загрязнением окружающей среды канцерогенными и токсичными ингредиентами, выбрасываемыми с ОГ автомобильных бензиновых ДВС.

Ключевые слова: ДВС, канцерогенные вещества, бенз(а)пирен, форкамерно-факельное зажигание, термокatalитическая нейтрализация ОГ, оксиды азота.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Зниження викидів канцерогенних речовин
з відпрацьованими газами
автомобільних бензинових двигунів

Овчаров Олександр Володимирович

Відповідальний за випуск
к.т.н. Богомазов Є.В.

Підписано до друку

Формат паперу 64×84 1/16. Папір писальний.

Друк офсетний. Умовн. друк.арк. 1,0. Обл. – вид. арк. 1,2.

Замовлення № Тираж 100 прим.

Вид. ХарДАЗТ, 61050, м.Харків – 50, майдан Фейєрбаха, 7.

Друк. ХарДАЗТ, 61050, м.Харків – 50, майдан Фейєрбаха, 7.