

ОЗОННИЙ МЕТОД ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Проблема захисту навколишнього середовища від токсичних компонентів вихлопних газів двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) дедалі стає все більш актуальною. Широке застосування таких двигунів у всьому світі сприяло значному забрудненню відпрацьованими газами атмосфери міських та промислових районів.

Існує багато способів зменшення токсичності вихлопних газів двигуна внутрішнього згорання. Основними шляхами зниження їх токсичності є:

— попередження утворення токсичних компонентів (зміна параметрів роботи двигуна за рахунок регулювання системи живлення; зміна конструкцій камер спалювання палива; подача палива безпосередньо в камеру згорання. тощо);

— нейтралізація утворених токсичних домішок (рециркуляція відпрацьованих газів; вогнева нейтралізація відпрацьованих газів; каталітична нейтралізація; використання присадок) [1].

До переваг цих способів можна віднести ефективне зниження вмісту токсичних компонентів у вихлопних газах двигуна внутрішнього згорання, а до недоліків – ускладнення або зміна конструкції двигуна, необхідність створення умов для роботи нейт-

ралізуючих пристроїв, неефективна робота цих пристроїв на певних режимах роботи двигуна, поява нових токсичних речовин у вихлопних газах в результаті використання присадок, зниження потужності ДВЗ при використанні каталізатора [2].

Озонні методи інтенсифікації процесу горіння палива дають можливість виправити деякі недоліки існуючих технологій зниження токсичності відпрацьованих газів ДВЗ [3,4,5,6]. Способи заключаються в подачі озono-повітряної суміші в повітряний потік, що йде на утворення паливо-повітряної суміші, або безпосередньо в бензин.

Перевірку озонних методів інтенсифікації процесу горіння рідкого палива було проведено на стендовій установці, яка складалася з карбюраторного двигуна “Урал-353А” та обкаточно-тормозного стенда КИ-2139Б [6,7,8,9].

За отриманим даними при проведенні досліджень у відпрацьованих газах двигуна стендової установки знижувався вміст оксидів вуглецю, оксидів сірки, альдегідів, бенз(а)пирену, вуглеводнів бензину (дивись таблицю 1), а також зростала потужність двигуна та знижувалися витрати палива (дивись таблицю 2).

Таблиця 1. Зміна характеристик двигуна внутрішнього згорання від дози озону в паливі (стендова установка)

Характеристика	Доза озону, г/дм ³				
	0	0,345	0,690	1,035	0
Частота обертання вала двигуна, хв. ⁻¹	1700	1700	1740	1720	1700
Температура відпрацьованих газів, С	445	446	435	440	455
Коефіцієнт надлишку повітря	1,13	1,20	1,27	1,18	1,14
Витрати палива, кг/год	3,54	3,26	3,15	3,40	3,50
Об'ємна частка вмісту у відпрацьованих газах двигуна, %:					
оксиду вуглецю (II)	0,24	0,20	0,05	0,11	0,25
оксиду азоту	0,0014	0,0010	0,0010	0,0010	0,0014
вуглеводнів палива	0,08	0,08	0,05	0,06	0,07

Таблица 2. Влияние дозирования озона в карбюратор на режимные параметры работы карбюраторного двигателя (режим холостого хода)

№ дос- лѣду	$\alpha_{нов}$	$\frac{g_{O_3}}{G_n}$, г/кг	$\frac{g_{O_3}}{G_n + G_{нов}}$, г/кг	n_1 , хв ⁻¹	Δn_1 , хв ⁻¹	t , °C	Δt , °C	ΔC_{CO} , %	$\Delta C_{NO_x} \cdot 10^3$, %	$\Delta C_{C_n H_m} \cdot 10^3$, %
1	1,47	0,44	0,020	1600	+40	486	+7	-0,4	-1,5	
2	0,96	0,32	0,022	1400	+10	386	+11	-0,6	-0,5	
3	0,83	0,31	0,024	1480	+10	367	+20	-1,2	-0,5	
4	0,96	0,29	0,020	1660	0	500	-2	-0,9	0	
5	0,79	0,29	0,024	1540	+10	400	+14	-1,0	-0,5	
6	0,86	0,32	0,024	1500	+20	414	0	-1,0	0	
7	1,17	0,25	0,024	1410	0	396	+7	-1,3	-0,2	-0,02
8	0,67	0,25	0,024	1200	0	219	0	-1,6	-0,1	-0,02
9	0,65	0,24	0,023	1340	0	319	0	-1,7	0	-0,06

За оптимальних умов озонування у відходячих газах на різних режимах роботи стендового двигуна спостерігалось практично повне пригнічення утворення оксиду вуглецю (II) та альдегідів, а також оксидів азоту (II) при дозуванні озону в бензин.

В подальшому для перевірки даних, отриманих на стендовій установці нами була створена дослідна установка автономного живлення ДВЗ озонованим паливом. На установці було перевірено обидва способи подачі окислювача – в карбюратор та в бензин. Під час створення установки були враховані рекомендації для стендових досліджень [7, 8, 9].

Схема установки автономного живлення ДВЗ озонованим паливом представлена на рис. 1. Блок отримання озono-повітряної суміші включав у себе систему подачі та підготовки повітря; систему живлення електроенергією і генератор озону. Створена система пройшла випробування в лабораторних умовах.

Генератор озону, особистої конструкції, з спеціально обробленою поверхнею діелектрика [10, 11, 21] пройшов випробування на продуктивність при різних напрузі, частоті та скважності електричного струму, а також для різних швидкостей подачі осушеного повітря.

Отримані під час випробувань дані для об'ємних витрат повітря $0,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, $U = 5,3 \text{ кВ}$ та частоти струму 4,5 кГц, представлені в таблицях 3 та

4, а також у вигляді графічних залежностей на рис. 2, 3, 4.

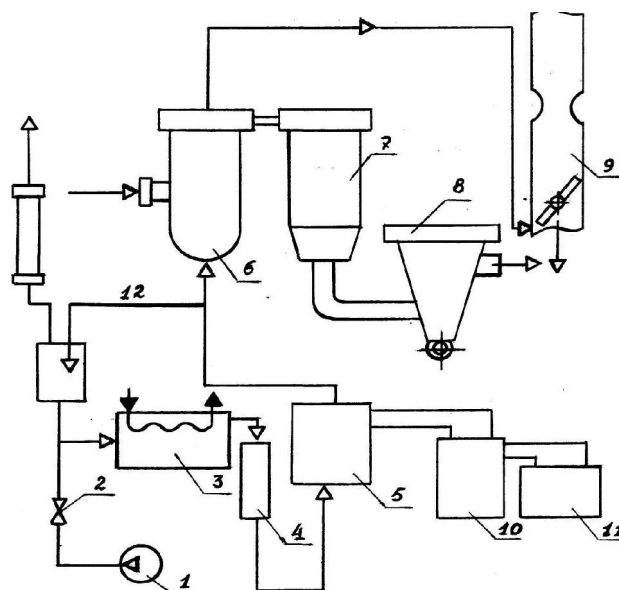


Рис. 1. Дослідна установка автономного живлення ДВЗ озонованим паливом

Таблица 3. Характеристики блока отримання озону

Частота, кГц	Продуктивність озонатора G_{O_3} , г/год.	Напруга на клеммах озонатора U , кВ
1,5	0,342 (0,338)	5,3 (4,8)
2,4	0,355 (0,362)	5,5 (4,6)
3,2	0,373 (0,348)	5,3 (4,1)
4,5	0,394	5,2 (3,4)
10	0,356	2,9

Примітка – дані, наведені в дужках, отримані для меншої скважності напруги.

Таблиця 4. Дані випробувань блока отримання озону

Об'ємна швидкість повітря $Q_1 \cdot 10^{-4}, \text{ м}^3/\text{с}$	Концентрація озону в повітрі $C_{O_3}, \% \text{ об.}$	Продуктивність озонатора, $G_{O_3}, \text{ г/год.}$
0,24	0,069	0,3
0,43	0,061	0,315
0,76	0,058	0,394
1,01	0,056	0,392
1,22	0,055	0,39

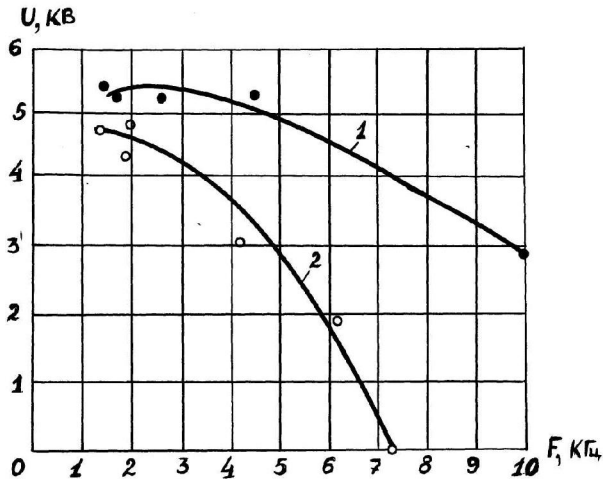


Рис. 2. Залежність зміни напруги на клеммах озонатора від частоти струму:

U – напруга, кВ; F – частота струму, кГц

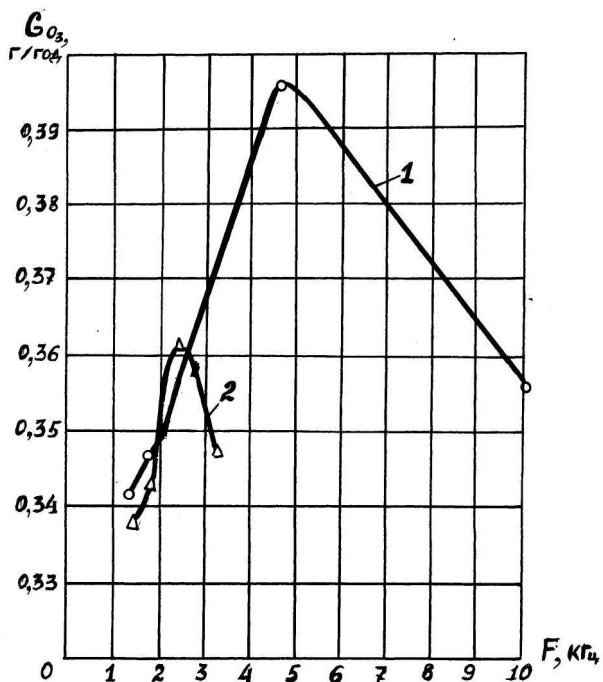


Рис. 3. Залежність зміни продуктивності озонатора від частоти струму:

G_{O_3} – продуктивність озонатора, г/год;
 F – частота струму, кГц

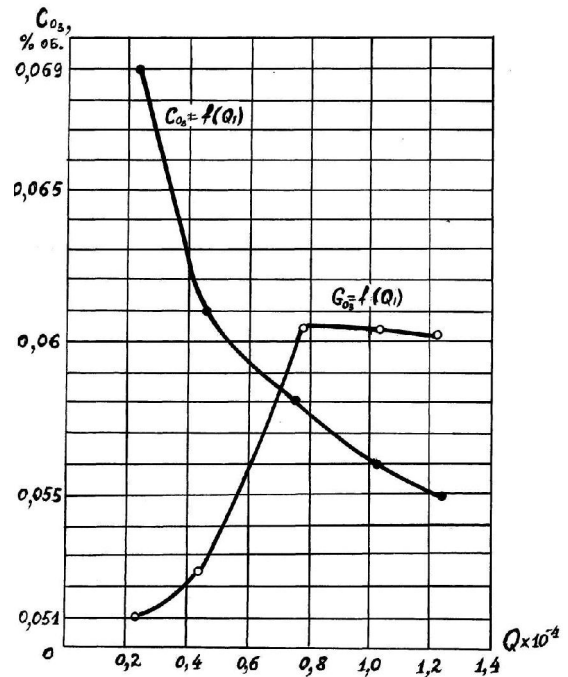


Рис. 4. Залежність зміни концентрації озону в озono-повітряній суміші від витрат повітря:

C_{O_3} – концентрація озону, % об.;
 Q – об'ємні витрати повітря, $\text{м}^3/\text{год}$

Для середніх витрат палива і повітря у двигуні легкового автомобіля нами проведено розрахунки: потужності газодувки, розмірів адсорберів, розрахована потужність системи живлення енергією, продуктивність озонатора, підібрано відповідні сорбенти.

Згідно отриманих експериментальних даних максимальна продуктивність блока залежить від витрат повітря, частоти струму, величини напруги і складає $\sim 0,4$ г озону за годину, що відповідає витратам палива і повітря для автомобіля ГАЗ 2410, система живлення якого добре пристосована до можливих перетворень.

З урахуванням відомого часу контакту озono-повітряної суміші та бензину розраховано блок насичення озonom рідкого палива.

Робота установки (рис.1) заключалася у наступному: бортовим компресором 1 здійснювався забір повітря із салона автомобіля. Повітря проходило через фільтр 3, поглинач вологи 4 для очистки від органічних з'єднань і вологи, та поступало в генера-

тор озону 5. Тут під дією бар'єрного розряду з кисню повітря утворювався озон. Висока напруга подавалася на клема озонатора від перетворювача напруги 10, який отримував живлення від акумуляторної батареї автомобіля 11. Паливо через фільтр поступало із бака в реактор-поглинач 6, де контактувало з озono-повітряною сумішшю. Озон розчинявся у бензині, а озono-повітряна суміш після контакту, разом з легко летючими вуглеводнями рідкого палива відводилася у основний повітряний потік під дросельну заслонку карбюратора 9. Озоноване паливо після сепаратора 7 і бензонасоса 8 поступало в поплавкову камеру карбюратора і далі змішуючись у дифузорі з основним повітряним потоком, утворювало паливо-повітряну суміш та поступало у двигун для спалювання. Аналітичний контроль за вмістом озону в озono-повітряній суміші проводився по лінії 12.

Примітка - на рисунках 2 і 3 графіки позначені цифрою 1 побудовані для більшої скважності напруги, а графіки позначені цифрою 2 – для меншої скважності.

Схема розміщення вимірювальних приладів на автомобілі приставлена на рис.5. Температура відпрацьованих газів автомобіля вимірювалася за допомогою хромель-алюмінієвої термопари 5, кінці якої проводами були з'єднані з клемми логометра 6. Термопара була вставлена у отвір, просвердлений у вихлопному колекторі 7 двигуна. Кількість повітря що витрачалася для приготування паливо-повітряної суміші вимірювалася за допомогою ротаметра 8, який замірював розрідження у карбюраторі. Кількість витраченого бензину визначалася шляхом зливання його залишку з бензобака 9 через отвір для зливу і замірялася за допомогою мірних об'ємів та циліндрів. Вимірювання концентрації у вихлопних газах оксидів азоту, вуглецю та вуглеводнів палива проводилися лінійно-колориметричним методом. Середньостатистичні дані, отримані за результатами досліджень по всьому шляху руху автомобіля, зве-

дені в таблицю 5 та для наглядності представлені на рис.6.

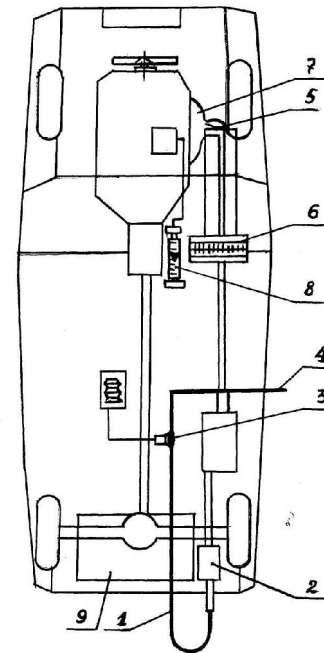


Рис. 5. Схема розміщення вимірювальних приладів на автомобілі ГАЗ 2410

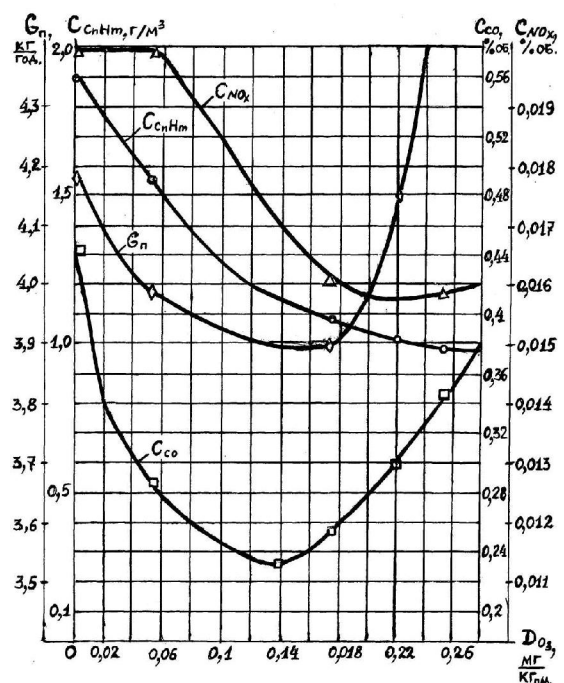


Рис. 6. Дані роботи ДВЗ ГАЗ 2410 на озонованому паливі:

G_n – витрати палива, кг/годину; C_{CmHn} – вміст вуглеводнів у вихлопних газах, г/м³; C_{CO} – вміст оксиду вуглецю (II) у вихлопних газах, % об.; C_{NOx} – вміст оксидів азоту у вихлопних газах, % об

Таблица 5.

Характеристика	Доза озона, г/кг палива				
	0	0,057	0,17	0,22	0,25
Швидкість руху автомобіля, км/год	60	60	60	60	60
Температура вихлопних газів, °C	300	320	360	400	440
Коефіцієнт надлишку повітря	0,99	0,98	0,95	0,96	0,98
Витрати палива кг/год	4,17	3,98	3,89	4,15	6
Концентрація у вихлопних газах, %					
CO	0,44	0,283	0,258	0,3	0,349
NO _x	0,022	0,022	0,016	0,0156	0,0158
Концентрація вуглеводнів бензину у вихлопних газах, мг/м ³	1900	1550	1098	1000	980

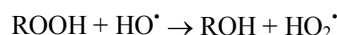
При заміні стандартного бензину А-76 на озонований у вихлопних газах двигуна спостерігається зниження вмісту оксидів вуглецю та азоту, вуглеводнів бензину, альдегідів, бен-а-пирену, що поліпшує технічні характеристики його роботи, для постійної швидкості руху та відносно постійних витрат повітря, спостерігається зростання температури відпрацьованих газів (у обраній точці вихлопного колектора), зниження концентрації вуглеводнів у вихлопних газах. Усі інші характеристики, що замірялися мають екстремуми. Мінімум витрат палива, який припадає на дозу окислювача $0,17 \pm 0,03$ г на 1кг бензину, відповідає мінімумам щодо вмісту оксида вуглецю (II) та азота (II) у відпрацьованих газах.

Усі отримані характеристики повністю підтверджують дані стендових досліджень, а результати випробувань бортової установки лягли в основу технології дозування озонованого палива [13].

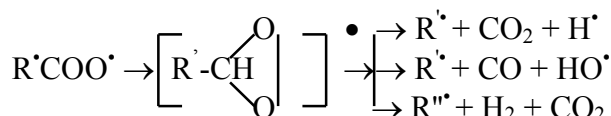
Отримані дані свідчать про те, що дозування озону безпосередньо в бензин є більш ефективним для процесу інтенсифікації горіння рідкого палива ніж дозування озono-повітряної суміші в карбюратор. Це пов'язано в першу чергу з процесами утворення в об'ємі палива перенасичених киснем з'єднань на основі олефінових вуглеводнів. Зростання концентрації кисневмісних радикалів і їх послідовне рівномірне розповсюдження у паливо-повітряному заряді, позитивно впливає на швидкість та повноту проходження послідовно-паралельних

реакцій підготовки палива до згорання і має місце у кінетичній області, безпосередньо перед фронтом полум'я. Рівномірність горіння усього фронту полум'я обумовлена підготовкою палива до спалювання, а також утворенням цілого ряду проміжних органічних з'єднань, які мають октанові числа набагато більші ніж вуглеводні бензину. Зниження вмісту олефінових вуглеводнів та заміна їх на кисневмісні органічні радикали приводить до підвищення хімічної стабільності палива а також знижує схильність палива до утворення відкладень у впускній системі двигуна.

Високий ступінь впливу озону на процес горіння при його мікродобавках у паливо (у зоні оптимальних доз) можна пояснити ланцюговим радикальним механізмом хемодеструкції пероксидних з'єднань та подавленням детонації у зоні полум'я :



Радикали $\text{HO}^\bullet$, $\text{H}^\bullet$, а також $\text{R}^\bullet$ синтезуються в об'ємі палива із бірадикалів, які присутні в озонованому бензині, у період його підготовки до спалаху:



Час існування бірадикалів обмежений, тому тривале зберігання озонованого бензину приводить до синтезу в його об'ємі кислот і знижує здатність палива до повного згорання. Це також спостерігається при високих дозах озону, що вводяться в

паливо на стадії підготовки.

Проведені економічні розрахунки показали, що витрати на виготовлення установки автономного живлення двигуна внутрішнього згорання озонованим паливом можуть бути повернені вже за 2 роки її експлуатації за рахунок економії палива. Всі розрахунки були проведені для середнього режиму експлуатації автомобіля ГАЗ 2410.

Висновки

1. Використання озонного методу інтенсифікації процесу горіння рідкого палива дає можливість знизити токсичність відпрацьованих газів ДВЗ, досягнути високої економії палива на різних режимах роботи двигуна, підвищити октанове число бензинів та потужність двигуна.

2. Запропонована система автономного живлення двигуна внутрішнього згорання озонованим паливом під час її установки не вимагає зміни конструкції автомобіля, проста у виготовленні, при періодичному профілактичному обслуговуванні надійна в експлуатації.

Список літератури:

1. Якубовский Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды: Пер. с пол.-М.: -Транспорт, 1979.-198с. 2. Малов Р.В., Ерохов В.И., Щетина В.А. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды.-М.: -Транспорт, 1982.-200с. 3. Европейский патент №83/04243, МКИ СОІВ 13/11. Генератор озона для двигателя внутреннего сгорания/ Окамото Ю.- Оpubл.08.12.83 (Приоритет: Яп.пат.№56/078258.-Оpubл. 24.08.82). 4. Некоторые результаты работы дизелей на озонирован-

ном топливе/ Л.И. Казанцев, С.А. Калашиников, А.А. Сидоров// Труды Новосибирского института инженеров водного транспорта.- 1991.- вып.69. -С.69-73. 5. Патент 2540990 ФРГ, МКИ F 02 М 25/10. Устройство по дозированию озонированного воздуха в двигатель внутреннего сгорания/ Театтик А.- Оpubл. 1997. 6. А.С. 1240943 СССР, МКИ F 02 М 25/10. Способ питания двигателя внутреннего сгорания/ Столяренко Г.С. – Оpubл.11.03.84 (Инф. Бюл. №4, 30.06.86). 7. Столяренко Г.С. Изучение влияния малых доз озона на работу карбюраторного двигателя внутреннего сгорания// Депонир. В НИИТЭХИМ.- Черкассы.- 1991, №451 – ХП.-С.1-42. 8. Столяренко Г.С. Интенсификация процесса горения рідкого палива озонным методом// Экспресс-новини: наука, техніка, виробництво,-1998, №7-8.-С.8-10. 9. Столяренко Г.С., Громико А.В. Интенсификация процессу горения бензина у ДВЗ// Хімічна промисловість України.- 1996, - 1. – С.23. 10. Патент 2016840 России, МКИ В ОІ D 53/16. Диэлектрик с микрорельефом на его поверхности преимущественно для озонаторов/ Столяренко Г.С. и другие. Заявл.26.02.1991. Бюлл. из. №14, 1994. 11. Патент 2023746 России, МКИ В ОІ D 53/16. Устройство для электронно-лучевой обработки объектов/ Столяренко Г.С. и др. Заявл. 26.02.91. Бюлл. из. №22, 1994. 12. Патент 1819250 России, МКИ В ОІ D 55/16. Способ изготовления микрорельефа на диэлектрической поверхности/ Столяренко Г.С. и др. Заявл.26.02.91. Бюлл. из. №20, 1993. 13. Декларационный патент України на винахід МКИ F 02 М 25/10. Пристрій для живлення двигуна внутрішнього згорання озонованим паливом/ Столяренко Г.С. та ін. Заявл.09.01.2003. Бюл.№6, 2004.