

УДК 629.4.013:620.92

АНАЛІЗ СКЛАДУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Єременко Олександр Іванович, к.т.н., доцент,

Ващенко Дарія Олегівна, здобувач вищої освіти

Мацюк Катерина Іванівна, здобувач вищої освіти

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: eremolex@nubip.edu.ua

Склад відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) автотранспортних засобів містить близько 1000 шкідливих речовин, які негативно впливають на довкілля [1, 2]. Період їх існування до природної нейтралізації становить від декількох хвилин до 5 років. За хімічним складом, фізико-хімічними властивостями та характером дії на організм людини налічують вісім груп шкідливих компонентів [2].

Узагальнений вміст речовин у відпрацьованих газах ДВЗ наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Об'ємний вміст речовин у відпрацьованих газах, %

№ з/п	Речовина	Тип двигуна	
		Бензиновий	Дизельний
1	Кисень, O_2	0,05 ÷ 8,0	2,0 ÷ 18,0
2	Вуглекислий газ, CO_2	5 ÷ 12,5	1,0 ÷ 12,0
3	Водяна пара, H_2O	0,05 ÷ 8,0	0,5 ÷ 10,0
4	Азот, N_2	74 ÷ 77	76 ÷ 78
5	Оксиди азоту, NO_x	0,05 ÷ 0,5	0,1 ÷ 1,0
6	Чадний газ, CO	0,1 ÷ 10,0	0,01 ÷ 0,5
7	Вуглеводні, C_xH_y	0,2 ÷ 2,0	0,01 ÷ 0,5
8	Альдегіди	0 ÷ 0,2	0 ÷ 0,05
9	Оксиди сірки	0,003	0,015

Група 1. До неї входять нетоксичні речовини: азот, кисень, водень, водяна пара, вуглекислий газ та інші природні компоненти атмосферного повітря. Діоксид вуглецю (CO_2) у продуктах згорання в даний час не нормується. Величина викидів CO_2 залежить від фізико-хімічних і теплофізичних властивостей палив та їх витрат [1, 2].

Група 2. До цієї групи відносять тільки оксид вуглецю (чадний газ CO). Це продукт неповного згорання вуглецю. Він утворюється в результаті хімічних реакцій під час згорання вуглеводневих палив з деякою нестачею кисню, а також

в результаті дисоціації CO_2 за температур понад 2000°K). Утворення CO є одним із принципово можливих результатів реакції горіння вуглеводнів [2].

Окислення CO у CO_2 може відбуватися у вихлопній трубі, а також у нейтралізаторах, що допалюють відпрацьовані гази. Проте, значна частина оксиду вуглецю викидається в навколишнє середовище.

Група 3. До її складу входять оксиди азоту (NO_x): NO , N_2O , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 і N_2O_5 . У відпрацьованих газах ДВЗ переважає серед оксидів азоту – NO (99 % в бензинових двигунах і біля 90 % в дизельних двигунах).

Монооксид азоту (NO) – це безбарвний газ, який не вступає в реакції з водою і мало розчинний в ній. Проте він легко окислюється киснем повітря і утворює при цьому діоксид азоту. За нормальних умов в атмосферному повітрі NO з часом повністю перетворюється на NO_2 .

У камерах згоряння домінує термічний NO , що утворюється з молекулярного азоту під час горіння збіднених паливо-повітряних сумішей та сумішей, близьких за складом до стехіометричних. Це відбувається за фронтом полум'я в зоні продуктів згорання. Під час згорання бідних сумішей (коефіцієнт надлишку повітря $\alpha > 0,8$) реакції відбуваються за певних умов [1, 2].

Під час спалювання бідних сумішей вихід NO визначається максимальною температурою $2800\text{--}2900^\circ\text{K}$ ланцюга теплового вибуху. В багатих сумішах вихід NO перестав залежати від максимальної температури теплового вибуху і визначається кінетикою розкладання. При горінні бідних сумішей суттєвий вплив на утворення NO здійснює нерівномірність температурного поля в зоні продуктів згорання й присутність водяної пари, яка в ланцюговій реакції окислення N_2 є інгібітором [2].

Висока інтенсивність процесів нагрівання, а потім охолодження суміші газів у циліндрах двигунів внутрішнього згорання приводить до утворення досить нерівноважних концентрацій реагуючих речовин. Відбувається ніби заморожування NO , що утворився, уповільнення швидкості його розкладання.

Компоненти палива, що містять азот (аміни, циклічні з'єднання у вигляді піридину, карбазолу), є джерелами утворення паливного NO вже за температур $1300\text{--}1400^\circ\text{K}$, адже на ці процеси витрачається енергії менше, ніж на руйнування зв'язків молекулярного азоту. Ці речовини легше вступають в реакцію окислення, ніж атмосферний азот [2, 3].

Група 4 – найчисельніша група. До її складу входять вуглеводні з'єднання типу C_xH_y . Вони утворюються в результаті таких процесів:

- реакцій ланцюгового теплового вибуху – піролізу і синтезу, при яких утворюються поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), альдегіди, феноли;
- неповноти згорання унаслідок порушення процесу горіння через припинення реакцій окислення вуглеводнів за низьких температур, неоднорідності паливо-повітряної суміші в окремих циклах або циліндрах двигуна, при яких утворюються незгорілі компоненти палива і мастил [2, 3].

У відпрацьованих газах ДВЗ містяться вуглеводні різних гомологічних рядів: парафінові (алкани), нафтеніві (циклани) і ароматичні (бензольні): всього біля 160 компонентів. Вони утворюються в результаті неповного згорання палива в двигуні. Найбільш токсичні – це ПАВ. Серед них максимальний рівень токсичності має бенз(а)пірен ($C_{20}H_{12}$). Гіпотетична реакція його утворення при піролізі вуглеводневих палив при температурах більших ніж $873^{\circ}K$.

Утворення бенз(а)пірену відбувається одночасно з утворенням сажі. Незгорілі вуглеводні є однією з причин появи білого чи сірого диму з вихлопної труби. Це відбувається, якщо займання робочої суміші в циліндрі двигуна запізнюється або при роботі за понижених температур у камері згорання [1-3].

Група 5. Складові – це альдегіди, які є органічними сполуками, що містять альдегідну групу, пов'язану з вуглеводневим радикалом [2].

У відпрацьованих газах автомобільних ДВЗ присутні формальдегід, акролеїн і оцтовий альдегід. Найбільша кількість альдегідів утворюється на режимах холостого ходу двигуна, а також малих навантажень, коли температура в камері згорання невисока [2, 3].

Формальдегід ($HCHO$) – безбарвний відпрацьований газ дизельних двигунів з неприємним запахом, важчий за повітря.

Акролеїн ($CH_2=CH-CHO$) – безбарвний отруйний газ із запахом підгорілого жиру.

Оцтовий альдегід (CH_3CHO) має різкий запах і токсичну дію на організм.

Група 6. До неї відносять сажу та інші тверді й рідкі дрібнодисперсні частинки, зокрема продукти зношування ДВЗ, оксиди металів, діоксид кремнію, сульфати, нітрати, смоли, феноли, важкі фракції, аерозолі, нагар тощо.

Сажа – твердий вуглець чорного кольору та основний компонент нерозчинних твердих частинок. Вона утворюється в зонах об'ємного піролізу (термічного розкладання вуглеводнів у газовій фазі за недостатньої кількості кисню) під час згорання збагаченої суміші з низьким коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha=0,33-0,7$. У відрегульованих двигунах із зовнішнім утворенням паливо-повітряної суміші незначна ймовірність появи таких зон. В дизельних двигунах локальні зони із занадто збагаченою сумішшю утворюються частіше. Тому в них імовірніші процеси утворення і викидів сажі [2, 3].

Утворення сажі також залежить від властивостей палива: чим більше співвідношення C/H у паливі, тим більший вихід сажі з відпрацьованими газами.

Група 7 сірчистих з'єднань, які важчі за повітря та розчиняються у воді.

Сірка, що міститься у паливі, під час згорання інтенсивно окислюється до діоксиду сірки (SO_2) – безбарвного газу з різким задушливим запахом. Процес такого окислення подібний процесу утворення CO . Далі відбувається реакція SO_2 з водяною парою, що призводить до утворення H_2SO_3 . Реакція, як правило, протікає на стінках камери згорання за температури нижче ніж $815^{\circ}K$.

У групу також входить сірководень (H_2S) – безбарвний отруйний газ із характерним запахом тухлих яєць. Він з'являється у складі відпрацьованих газів ДВЗ, якщо використовується паливо з підвищеним вмістом сірки [1, 2].

Група 8. Компоненти цієї групи – свинець та його з'єднання. Вони містяться у відпрацьованих газах у вигляді з'єднань галогенідів свинцю. Це відбувається під час спалювання етилованих бензинів, що мають у своєму складі присадку на основі свинцю, яка підвищує октанове число бензину. Головною складовою присадки є тетраетилсвинець – $Pb(CH_3CH_2)_4$ [1, 2].

Октанове число – визначає здатність двигуна працювати без детонації. Це дає змогу збільшувати ступінь стиснення паливо-повітряної суміші в циліндрі ДВЗ перед її запалюванням без детонації, і таким чином підвищувати корисну потужність двигуна. Детонаційне згоряння робочої суміші протікає з надзвуковою швидкістю, що у 100 разів швидше за нормальне згорання [1-3].

Висновок. Компоненти відпрацьованих газів ДВЗ, що виділені у вісім груп, занадто негативно впливають на екосистеми, організми людей, на флору і фауну. Суттєве значення мають якісні показники вуглеводних палив. При згоранні та випаровуванні моторні палива і мастила інтенсивне поширюються в атмосфері і гідросфері на великі відстані, здійснюють шкоду на живі організми та екологічний стан довкілля. Отже, проектно-технічні та експлуатаційні розробки, спрямовані на зниження небезпечного впливу відпрацьованих газів ДВЗ транспортних засобів, мають велике значення на стабільність екологічних систем. Зниження токсичності відпрацьованих газів може бути досягнуто їх нейтралізацією різними методами.

Література

1. Єременко О.І., Зубок Т.О. До питання альтернатив автомобільному пальному на нафтовій основі: збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» (21-23 квітня 2021 року). НУБіП України. Київ: 2021. С. 42-45.
2. Запорожець О.І., Бойченко С.В., Матвєєва О.Л., Шаманський С.Й., Дмитруха Т.І., Маджд С.М. Транспортна екологія: навчальний посібник. К.: НАУ, 2017. 507 с.
3. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мержиєвська Л.П. Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник. К.: Арістей, 2006. 292 с.

Міністерство
освіти і науки
України



Міністерство освіти і науки України

Національний університет біоресурсів і
природокористування України

Механіко-технологічний факультет

Кафедра транспортних технологій та засобів у АПК

Академія прикладних наук Університету
управління та адміністрування в Ополі

Академія інженерних наук України
Українська асоціація аграрних інженерів



**ЗБІРНИК ТЕЗ
доповідей
VIII Міжнародної
науково-практичної конференції
«Автомобільний транспорт та інфраструктура»**



AutoTransport and Infrastructure

**17-19 квітня 2025 року
м. Київ**

УДК 631.17+62-52-631.3

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України від 20 травня 2025 р., протокол №. 12

Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» (17–19 квітня 2025 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2025. 242 с.

ISBN 978-617-8530-21-1

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, докторантів і аспірантів, студентів, фахівців транспортної галузі, учасників VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура», в яких розглядаються нинішній стан та шляхи розвитку автотранспортної галузі.

ISBN 978-617-8530-21-1

© НУБіП України, 2025.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:

Тонха О.Л., проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП України – голова організаційного комітету;

Отченашко В.В., начальник науково-дослідної частини НУБіП України – заступник голови організаційного комітету;

Братішко В. В., декан механіко-технологічного факультету НУБіП України – заступник голови організаційного комітету;

Киричок П.О., президент Академії інженерних наук України – заступник голови організаційного комітету (за згодою);

Тадеуш Покуса, проректор Академії прикладних наук Університету управління та адміністрування в Ополь (Польща) – співголова організаційного комітету (за згодою);

Ілесалієв Д. І., ректор Ташкентського Перфектного університету (Узбекистан) – співголова організаційного комітету (за згодою);

Дашдаміров Ф.С., директор Інституту логістики і транспорту Азербайджанського технічного університету (Азербайджан) – співголова організаційного комітету (за згодою);

Загурський О.М., професор кафедри транспортних технологій та засобів у АПК НУБіП України – секретар організаційного комітету.

Дьомін О.А., доцент кафедри транспортних технологій та засобів у АПК НУБіП України;

Калінін Є. І., завідувач кафедри тракторів та автомобілів НУБіП України;

Мацюк В. І., професор кафедри транспортних технологій та засобів у АПК НУБіП України;

Умідулла Абдураззоков, завідувач кафедри транспортної техніки Ташкентського державного університету транспорту (Узбекистан);

Роговський І. Л., завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка НУБіП України;

Павло Навицький, професор університету Орала Робертса (США);

Савченко Л.А., завідувачка кафедри транспортних технологій та засобів у АПК НУБіП України;

Софі Лю, професор Університету Орала Робертса (США);

Степанов О.В. заступник декана з наукової роботи механіко-технологічного факультету НУБіП України.