

шифр «Альтернативне паливо»

АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ  
АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

## Зміст

Вступ .....	3
1. Вплив відпрацьованих газів ДВЗ на навколишнє середовище .....	4
2. Застосування альтернативних видів палива на автотранспорті .....	8
Висновки .....	15
Список використаної літератури .....	16
Додатки .....	18

## Вступ

Нафта є практично єдиним джерелом виробництва моторних палив. Але при збереженні сучасних темпів видобутку і споживання розвіданих нафтових запасів, скороченні інвестицій у геологорозвідувальні роботи і підвищенні цін на бензини та дизельні палива спостерігається тенденція до зменшення ролі нафти і нафтопродуктів у світовій економіці.

У багатьох країнах за останні роки суттєво активізувалися дослідницькі роботи зі створення альтернативних моторних палив, які відповідають вимогам високих експлуатаційних показників і вирішують екологічну проблему автотранспорту. Передбачені розробка національних концепцій виробництва та використання альтернативних палив, створення перспективних конструкцій двигунів внутрішнього згоряння і енергетичних установок.

## 1. Вплив відпрацьованих газів ДВЗ на навколишнє середовище

В результаті роботи двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), встановлених на автомобільному транспорті, відбувається активне забруднення навколишнього природного середовища через викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами та пари палива. При цьому викиди негативно впливають на організм людини, а також порушують динамічну рівновагу біосфери планети.

Основні джерела утворення шкідливих викидів розглянемо на прикладі легкового автомобіля з бензиновим карбюраторним ДВЗ (рис. 1). До шкідливих речовин відносяться відпрацьовані гази (ВГ) та картерні гази (КГ), пари палива з баку і карбюратора. Основна частка викидів шкідливих речовин потрапляє до атмосфери з ВГ (55 % об.), а з КГ і парами палив – 45 % об. [1, 2].

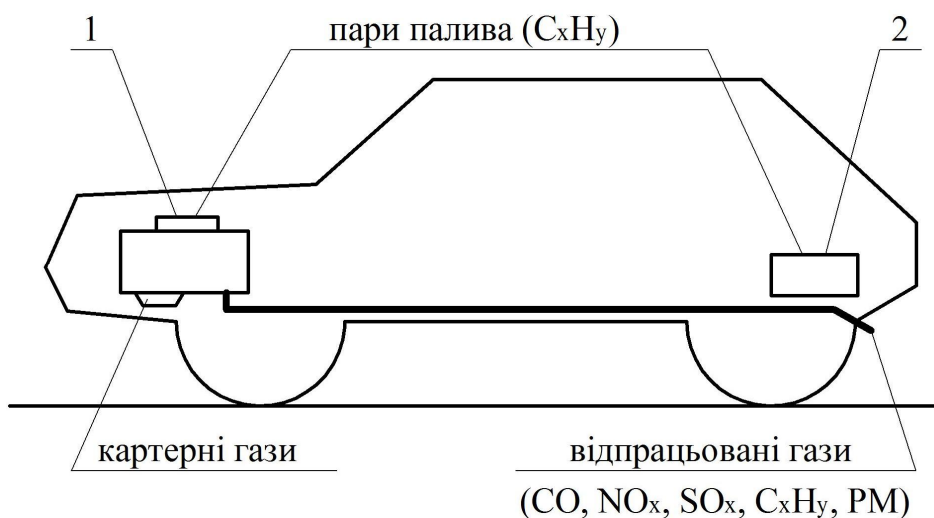


Рис. 1. Джерела утворення шкідливих викидів при роботі карбюраторного двигуна внутрішнього згорання: 1 – карбюратор; 2 – паливний бак

До продуктів повного згорання паливо-повітряної суміші відносяться діоксид вуглецю – вуглекислий газ ( $CO_2$ ) та вода ( $H_2O$ ).

Продуктами неповного згорання паливо-повітряної суміші є вуглеводні, що не згоріли (парафіни, олефіни, ароматичні вуглеводні –  $C_xH_y$ ), які згоріли неповністю (альдегіди –  $C_xH_y \cdot CHO$ , вуглецеві кислоти –  $C_xH_y \cdot COOH$ , оксид

вуглецю – CO); продукти термічного розпаду та їх похідні (поліциклічні вуглеводні, вуглець – C у вигляді сажі, ацетилен – C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, етилен – C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, водень – H<sub>2</sub>).

До побічних продуктів згоряння паливо-повітряної суміші відносяться: оксиди азоту – NO<sub>x</sub> від атмосферного азоту, оксиди свинцю – PbO<sub>x</sub> і галогеніди свинцю – PbHal<sub>x</sub> від паливних присадок при застосуванні етилованих бензинів, оксиди сірки – SO<sub>x</sub> від забруднень моторного палива.

Під впливом сонячного світла на відпрацьовані гази (ВГ) утворюються органічні пероксиди, озон, пероксіяцетил-нітрати. До основних компонентів ВГ відносяться азот, діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>) та водяні пари – нетоксичні. Викиди CO<sub>2</sub> впливають на явище парникового ефекту, зменшуючи шари атмосфери.

Влив ВГ на організм людини призводить до респіраторних захворювань, бронхіту та легеневої недостатності. Відпрацьовані гази містять надзвичайно токсичні речовини, що руйнують легені та порушують координацію, серед яких найбільш токсичними і подразнюючими компонентами слід вважати оксиди азоту – NO<sub>x</sub> (50...250 частин/млн), оксид вуглецю – CO (5...1500 частин/млн), вуглеводні (20...400 частин/млн), діоксид сірки – SO<sub>2</sub> (10...150 частин/млн) та тверді частки (0,25...0,1 г/м<sup>3</sup>) [1, 3].

Оксид азоту (NO) – безбарвний газ без смаку і запаху, який в повітрі поступово окислюється до діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>) – отруйного газу червоно-бурого кольору. Виявлені у ВГ концентрації NO призводять до подразнення слизової оболонки очей, горла і носа.

Оксид вуглецю (CO) – безбарвний газ без смаку і запаху, присутність якого у повітрі в об'ємній концентрації 0,3 % об. може призвести до смерті людини за 30 годин [2]. Особливо велика концентрація CO у ВГ при роботі ДВЗ на холостому ході, тому необхідно виключити двигун у закритому приміщенні. CO вступає в реакцію з гемоглобіном крові, наступає кисневе голодування, що уражує кору головного мозку і викликає розлад нервової діяльності.

Вуглеводні виявлені у ВГ в різних формах. Під впливом сонячного світла і при взаємодії з оксидами азоту вони в результаті хімічних реакцій утворюють окисники, які можуть бути джерелами подразнення слизової оболонки очей,

горла, носа, а деякі вуглеводні (табл. 1–3 [4]) є канцерогенними речовинами. Більшу небезпеку несуть ароматичні вуглеводні, які в умовах острого впливу на теплокровні організми уражують центральну нервову систему та викликають сонливість, в'ялість, судороги. В умовах хронічної інтоксикації проявляють політропний вплив та уражують ряд органів і систем. Поліциклічні ароматичні вуглеводні, бензен, толуен і ксилени при довготривалому впливі на організм людини призводять до онкологічних захворювань.

Таблиця 1 – Вміст у ВГ метанолу, етанолу і 2-пропанолу, мг/км

Умови руху	Бензин	СПГ*	КПГ*	Дизельне паливо
Міський цикл	3,9	2,4	1,2	30,0
Непрогрітий двигун	4,4	3,6	0,9	33,0
Прогрітий двигун	2,3	0,4	0,1	22,0
Траса	3,9	2,4	0,4	32,0
Пробка	5,4	6,3	3,2	96,0

\* СПГ – скраплений природний газ; КПГ – компримований природний газ

Таблиця 2 – Вміст у ВГ поліциклічних ароматичних вуглеводнів, мг/км

Транспорт	Бензин	СПГ	КПГ	Дизельне паливо
Легковий	9,0	5,5	4,0	62,0
Легкий вантажний	19,0	6,5	4,5	68,0

Таблиця 3 – Вміст у ВГ бензену, толуену і ксиленів, мг/км

Транспорт	Бензин	СПГ	КПГ	Дизельне паливо
Легковий	42,0	3,0	2,0	4,0
Легкий вантажний	53,0	4,0	3,0	4,0

Тверді частки (PM – particulate matter) – всі речовини, які за звичайних умов знаходяться у ВГ в твердому (попіл, сажа) чи рідкому стані. Частки мають дуже складний склад і можуть містити до 43 % сажі, до 10 % розчинних фракцій палива, до 5 % нерозчинних фракцій оливи і до 13 % сульфатів та парів води [3]. Найбільшу небезпеку несуть дрібні частки діаметром менше 50 нм,

відомі як наночастки, що здатні проникати глибоко в легені людини і сприяти появі ракових захворювань в більшій степені, ніж великі утворення.

Діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ) – безбарвний негорючий газ з різким запахом. Він викликає захворювання дихальних шляхів, легенево-серцеву недостатність, розлад серцево-судинної системи, порушує діяльність нирок, проявляє виразну токсичну дію на рослини та ґрунт, знижуючи родючість внаслідок окислення. Однак, у ВГ концентрація  $\text{SO}_2$  зазвичай невелика. Зниження викидів діоксиду сірки досягається зменшенням її вмісту в паливі.

Свинець останнім часом у ВГ автомобільних двигунів відсутній. Свинець протидіє детонації при згорянні палива і знижував знос випускних клапанів, але застосування екологічно чистих присадок дозволило практично зберегти антидетонаційну стійкість бензину на рівні етилованого палива.

Водночас концентрація викидів шкідливих речовин у ВГ значною мірою залежить від режиму роботи автомобільного транспорту (табл. 4) [5].

Таблиця 4 – Концентрація викидів шкідливих речовин з ВГ в залежності від режиму роботи автотранспорту

Компонент ВГ, % об.	Режим роботи			
	холостий хід	постійна швидкість	прискорення (0...40) км/год	гальмування (40...0) км/год
CO	0,5...8,5	0,3...3,5	2,5...5,0	1,8...4,5
$\text{C}_x\text{H}_y$	0,003...0,12	0,02...0,6	0,12...0,17	0,23...0,44
NO	0,005...0,1	0,10...0,20	0,12...0,19	0,003...0,005

Ефект від впливу забруднення навколишнього природного середовища не є однозначним. Так забруднене повітря впливає на руйнування будівельних матеріалів, пам'яток культури та історії, спричиняє підвищену корозію металів.

## 2. Застосування альтернативних видів палива на автотранспорті

Сьогодні до палив, отриманих з альтернативних енергетичних ресурсів, належать всі палива, що не є продуктами переробки нафти: природний газ (метан), скраплені вуглеводневі гази (пропан, бутан), газові конденсати, синтетичні вуглеводневі, оксигенатні та біологічні палива, водопаливні емульсії, палива з відходів полімерних матеріалів, водень і амоніак.

До альтернативних моторних палив (АМП) можна віднести і нафтові палива, до складу яких у достатній кількості входять речовини ненафтового походження – низькомолекулярні спирти (метанол, етанол) і прості етери [6].

Загальну класифікацію АМП представлено наступними групами:

- нафтові палива з додаванням спиртів і етерів, що за експлуатаційними властивостями близькі до традиційних нафтових палив (бензинів, дизпалив);
- синтетичні рідкі палива, які виробляють з газоподібної, рідкої або твердої сировини (природного газу, важких нафт, бітумінозних пісковиків, вугілля, горючих сланців, торфу тощо) за допомогою процесу Фішера-Тропша або за прогресивною технологією GTL (Gas to Liquid – газ в рідину);
- ненафтові палива (природний і нафтовий газ, водень, амоніак, оксигенатні палива), які за фізико-хімічними та експлуатаційними властивостям суттєво відрізняються від традиційних нафтових палив.

Однак немає єдиної концепції переходу на виробництво і використання АМП. Тому, перш за все, у вирішенні цієї проблеми є аналіз експлуатаційних, екологічних та економічних показників усіх можливих видів палива.

Альтернативні види палива мають свої переваги і недоліки, серед яких найважливішими є: виробничі витрати, доступність для споживача, вплив на навколишнє середовище, пристосування двигуна до процесу живлення новими паливами, безпека використання і схвалення споживачем.

Основними критеріями ефективності застосування різних палив є: рівень шкідливих речовин у відпрацьованих газах, витрати на виробництво палива та інфраструктуру, переобладнання двигуна і модернізацію паливної апаратури.



Порівняно з традиційними нафтовими паливами (бензином і дизпаливом), альтернативні палива мають суттєві переваги [7], які наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Переваги АМП над традиційними нафтовими паливами

Критерій	Визначення залежності
Енергетична незалежність країни	Виробництво з власних корисних копалин, сільсько-господарських продуктів або відходів, сміття
Емісія-смог	Зниження емісії токсичних компонентів у відпрацьованих газах автомобільних двигунів
Експлуатаційні витрати	Застосування деяких АМП забезпечує нижчі експлуатаційні витрати транспортних засобів

Динаміка зниження токсичності відпрацьованих газів (ВГ) автомобільних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) для європейських країн [8] наведено у табл. 6, а для США [6] – у табл. 7. Оцінку відносної ефективності використання АМП на автотранспорті [9] наведено у табл. 8.

Таблиця 6 – Європейські норми токсичності ВГ автомобільних ДВЗ

Стандарт	Вміст у ВГ, г/кВт·год			
	оксид вуглецю (CO)	оксиди азоту (NO <sub>x</sub> )	пари палива (C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> )	частинки сажі (PM)
Euro-1	4,5	8,0	1,1	0,36
Euro-2	4,0	7,0	1,1	0,15
Euro-3	2,0	5,0	0,6	0,10
Euro-4	1,5	3,5	—	0,02

Таблиця 7 – Допустимі значення емісії токсичних компонентів ВГ у США

Стандарт	Вміст у ВГ, г/милю		
	CO	NO <sub>x</sub>	(C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> )
США 1989/90 рр.	3,364 / 9,932	0,993 / 1,762	0,401 / 0,801
Перехідний LEV*	3,4 / 4,4	0,4 / 0,7	0,125 / 0,160
LEV	3,4 / 4,4	0,2 / 0,4	0,075 / 0,100
ULEV	3,4 / 4,4	0,2 / 0,4	0,04 / 0,05
ZEV	відсутність		

\* Вимоги Каліфорнійської програми ДВЗ з низькою (LEV – Low Emission Vehicle), ультранизькою (ULEV), нульовою (ZEV) емісією токсичних речовин у відпрацьованих газах автомобільних двигунів

Таблиця 8 – Оцінка відносної ефективності використання альтернативних видів палива на автотранспорті (базове паливо – бензин)

Моторне паливо	Витрати енергії на виробництво палива *	Вартість одиниці пробігу**	Пробіг на одному заправленні
Бензин	1,0	1,0	1,0
Бензин синтетичний	1,6	1,2	1,0
Метанол	1,6	1,5	0,5
Етанол	1,7	1,8	0,6
Скраплений нафтовий газ	1,05	0,7...0,9	1,0
Стиснений (компримований) природний газ	1,3...1,4	0,9...1,0	0,4...0,5
Скраплений природний газ	1,10...1,25	0,85...1,10	0,6...0,8
Диметиловий етер	1,5...2,0	—	—
Водень	3...4	—	—

\* Враховано ланцюг видобування – транспортування – переробка первинного енергоносія в моторне паливо. \*\* Визначено для шестимісного автомобіля з двигуном, що переобладнаний на газове паливо

Зниження емісії шкідливих речовин у відпрацьованих газах при роботі двигуна на альтернативному виді палива обумовлено тим, що молекули, які складають ці палива, насамперед, метану ( $\text{CH}_4$ ), пропану ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), н-бутану та ізобутану ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), н-пентану та ізопентану ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ), метанолу ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), етанолу ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), диметилового етеру ( $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ), більш прості порівняно з типовими супутниками традиційних нафтових палив (бензину і дизпалива) – ізооктану ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ), цетану ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ) та інших складових [2].

Проста структура і незначні розміри молекул сприяють більш «чистому згорянню» моторного палива, тобто в процесі їх розпаду знижується кількість перехідних хімічних сполук, які можуть бути токсичними. Однак, завдяки зниженню вмісту вуглецю щодо водню в порівнянні з нафтовими паливами у меншій кількості утворюється оксид вуглецю ( $\text{CO}$ ) – чадний газ.

До складу товарних нафтових палив, в залежності від елементного складу нафти, який визначається її природним родовищем, входять сірка, сполуки сульфуру і нітрогену. При згорянні палив вони утворюють шкідливі речовини, які викидаються в атмосферу (рис. 2).

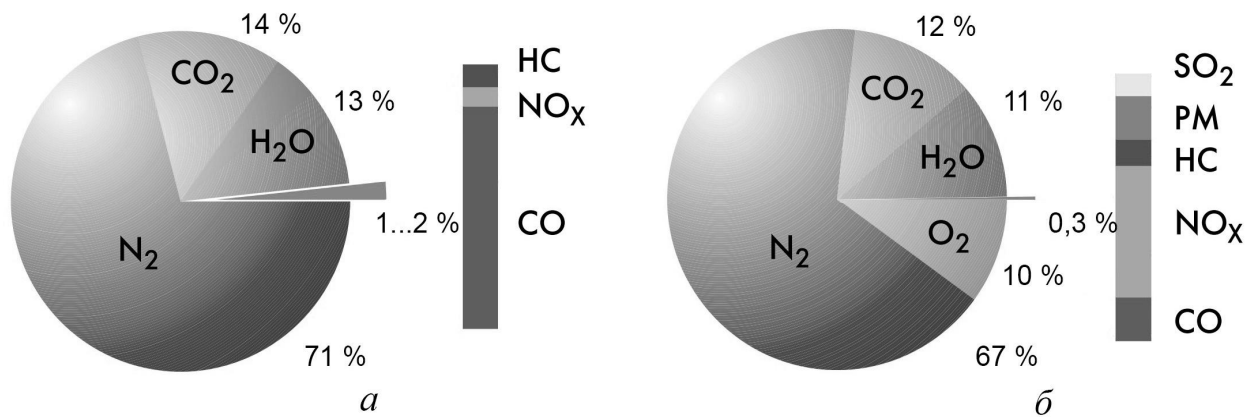


Рис. 2. Склад відпрацьованих газів бензинових (а) і дизельних (б) двигунів: N<sub>2</sub> – азот; O<sub>2</sub> – кисень; H<sub>2</sub>O – вода (у вигляді пари); CO<sub>2</sub> – вуглекислий газ; CO – оксид вуглецю; NO<sub>x</sub> – оксиди азоту; SO<sub>2</sub> – діоксид сірки; Pb – свинець; HC – вуглеводні; PM (particulate matter) – частинки сажі

З іншого боку, АМП у своєму складі практично не мають або містять в незначній кількості первинні шкідливі речовини і відповідно емісія токсичних компонентів ВГ у них значно нижча [2]. Що стосується автотранспорту з ДВЗ, які працюють на водні (H<sub>2</sub>), то вони майже стерильно чисті для навколишнього середовища і замість ВГ викидають в атмосферу «чисту воду».

#### *Перспективи використання водню в двигунах внутрішнього згорання*

На сьогодні виробництво водню в світі складає приблизно 40 млн т /рік за допомогою конверсії природного газу в синтез-газ, термічного розкладу води за температури 2000 °С і вище, риформінгу та інших нафтопереробних і нафтохімічних процесів [10]. Основною проблемою використання водню в якості альтернативного моторного палива є його зберігання на автотранспорті.

Існує декілька варіантів зберігання: компримований водень, скраплений водень і з використанням повторних енергоносіїв. Застосування водню в ДВЗ можливе в якості: домішки до традиційних нафтових палив, відновника паливних елементів або в чистому вигляді. Однак висока температура самозаймання 500...510 °С і швидке розсіювання в атмосфері дозволяє прирівнювати водень за показниками вибухо- і пожежонебезпеки до природного газу.

Перспективною формою застосування водню вважаються повторні енергоносії (тверді, рідкі), наприклад металогідриди або гідриди ароматичних вуглеводнів, здатні акумулювати в собі водень. Виділення водню відбувається при нагріванні гідридів до 70...80 °С гарячою рідиною із системи охолодження або відпрацьованими газами. В цьому випадку розв'язується проблема безпеки експлуатації водневого палива і забезпечується допустимий енергозапас без необхідності створення високих тисків для копримованого водню або криогенних температур для скрапленого водню. Повторний енергоносіє у вигляді гідридного акумулятора не потребує суттєвого догляду, швидко заряджається воднем, має низьку собівартість та тривалий термін експлуатації. Тому вони можуть конкурувати зі звичайними авто- і електромобілями.

#### *Стиснений чи скраплений природний газ для автомобіля?*

Стиснений (компримований) природний газ є одним з альтернативних видів палива, який широко застосовується в ДВЗ, має високу масову енергоємність, низький вміст токсичних речовин у продуктах згоряння та високу детонаційною тривкість, що пом'якшує роботу двигуна і дає можливість форсувати його за ступенем стиснення. До переваг використання компримованого природного газу (КПГ) відносяться [5]: підвищений на 35...40 % моторесурс двигуна у порівнянні з бензиновими, збільшений у 2...3 рази ресурс використання моторної оливи і на 30...40 % термін служби свічок запалювання. Проте зменшується вантажопідйомність машини на 9...14 % через значну масу (до 90 кг) балонів високого тиску (до 20 МПа) об'ємом 50 л, збільшується тривалість розгону на 24...30 % і знижується максимальна швидкість на 5...6 % внаслідок погіршення тягово-динамічних властивостей автомобіля [4]. Потужність ДВЗ зменшується на 18...20 % в результаті зниження енергоємності паливо-повітряної суміші і коефіцієнта наповнення циліндрів у порівнянні зі скрапленим природним газом.

Особливістю використання скрапленого природного газу (СПГ) є дуже низька температура кипіння – мінус 162 °С, що створює певні складності під час його добування і зберігання. Для зберігання на борту автотранспорту СПГ

необхідне встановлення спеціальних криогенних балонів, що матимуть подвійну оболонку – внутрішню з легованої сталі та зовнішню з вуглецевої сталі, простір між якими вакуумований або заповнений теплоізоляційним матеріалом.

Скраплення природного газу дозволяє зменшити його об'єм в 600 разів, масу і об'єм балона для зберігання – в 3...4 та 1,5...2 рази відповідно.

На прикладі автомобіля ЗИЛ-138А проведемо аналіз паливних систем і основних характеристик при використанні різних палив (табл. 9, 10).

Таблиця 9 – Порівняння паливних систем автомобіля ЗИЛ-138А

Показник	КПГ	СПГ	Відношення КПГ/СПГ
Запас газу, кг	75	75	1
Місткість балонів, л	400	175	2,28
Робочий тиск, МПа	20	0,15	130
Кількість балонів	8	1	8
Маса балонів, кг	740	85	8,71
Об'єм простору, який необхідний для розташування балонів, м <sup>3</sup>	1,4	0,6	2,33
Питома металоємність балонів, кг/кг газу	9,86	1,13	8,73

Таблиця 10 – Основні характеристики автомобіля ЗИЛ-138А на різних паливах

Показник	Бензин	КПГ	СПГ
Надлишковий тиск у балоні, МПа (max)	0,03	20	0,5
Об'єм балона на $4 \cdot 10^4$ кДж, л	1,30	6,20	1,95
Корисна вантажопідйомність, кг	6000	5500	6000
Маса автомобіля при повному заправленні, кг	4300	4900	4450
Викид оксиду вуглецю в атмосферу, кг/рік	1200	400	400

За умов розробки високонадійних криогенних балонів та газодизельних двигунів з турбонадувом СПГ може стати перспективним паливом для важко-вантажних автомобілів. Наприклад тягач Mack CH/LNG, який працює на СПГ, є самим «чистим» вантажним автомобілем у США [4]. Це дозволить щорічно замінити декілька млн. тон дизельного палива.

### *Реформульовані дизельні палива*

Реформулювання моторного палива полягає в модифікації його складу при виробництві на нафтопереробному заводі для зниження емісії шкідливих компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ. Зниження емісії таким шляхом є меншою, ніж при застосуванні сучасних технологій в конструкції двигунів або використанні альтернативних моторних палив, а отриманий ефект помітний, оскільки виникає у всіх типах двигунів внутрішнього згоряння.

З метою зниження емісії токсичних речовин і твердих часток у відпрацьованих газах необхідно покращувати фізико-хімічні властивості дизельних палив шляхом зниження температури кипіння і густини, вмісту сірки і ароматичних вуглеводнів, в основному дво- і трициклічних [4].

Реформульовані (екологічно чисті) палива рекомендують застосовувати насамперед у великих населених пунктах, курортно-паркових зонах, кар'єрах та інших місцях з обмеженим повітрообміном. Приміром фірма «Нафтохімія Полоцьк АТ» (Польща), починаючи з 1995 року, виробляє реформульоване дизпаливо ONM «Standard», яке порівнюють за параметрами з паливом «City Diesel» [8], що використовують для живлення ДВЗ міського автотранспорту.

Для виробництва палива підібрано відповідну суміш нафт, що забезпечує обмежений вміст ароматичних вуглеводнів та глибокий процес ароматизації. Це дозволяє витягти з палива майже всі сполуки сірки.

Жорсткі критерії норм в Європі стосовно поліпшення екологічних властивостей нафтових дизпалив, запропонували скандинавські країни [9]:

- вміст сірки не більше 0,001 % мас.;
- вміст багатоциклічних ароматичних вуглеводнів не більше 0,02 % мас.;
- температура закінчення кипіння не більше 300 °С.

Цим вимогам задовольняє реформульоване комерційне стандартне дизпаливо OM590 (Фінляндія) – Neste Oy (літнє – марки LEDS і зимове – LEDW). Зміна емісії токсичних компонентів у відпрацьованих газах у порівнянні зі стандартним дизпаливом за EN 590 наступна: зниження оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) на 13 %, твердих часток на 5...40 %, а поліциклічних ароматичних вуглеводнів на

10...70 % [11]. Цетанове число збільшилось до 53 і 54 ум. од. відповідно у Neste Oy (LEDS) і Neste Oy (LEDW), а також до 47 і 49 ум. од. у EN 590 видів Winter та Summer за національним стандартом SF-EN590 Reformulated Diesel [8].

## **Висновки**

1. Проведений аналіз шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згорання показав, що однією з важливих проблем є розробка конструктивних заходів, які забезпечили б максимально можливу екологічну безпеку, діагностування агрегатів і систем автотранспорту.

2. Розглянуті альтернативні моторні палива є ефективними заміниками традиційних нафтових палив, застосування яких дозволяє поліпшити екологічні та експлуатаційні властивості автомобільного транспорту. Однак використання вимагає введення певних державних дотацій з метою зниження собівартості.

3. Використання газоподібних палив у двигунах внутрішнього згорання, зокрема стисненого і скрапленого природного газів, потребують модернізації конструкції двигуна, переобладнання машини і дотримання правил безпеки.

4. Висока температура самозаймання воднеповітряних сумішей ускладнює їх використання у дизельних двигунах. Водночас повторні енергоносії у вигляді гідридних акумуляторів не потребують особливого догляду, швидко заряджаються воднем, мають низьку собівартість і тривалий термін експлуатації.

5. Реформування дизельного палива дозволяє суттєво знизити емісію токсичних речовин і твердих частинок у відпрацьованих газах без модернізації конструкції двигунів внутрішнього згорання.

## Список використаної літератури

1. Канило П. М. Автомобиль и окружающая среда / П. М. Канило, И. С. Бей, А. И. Ровень. – Харьков : Прапор, 2000. – 304 с.
2. Балака М. Н. Выброс вредных веществ с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания / М. Н. Балака, В. В. Слободчиков, Г. А. Аржаев // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-техн. конф., 16 апр. 2014 г. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. – С. 18–22.
3. Внукова Н. В. Альтернативне паливо як основа ресурсозбереження і екобезпеки автотранспорту / Н. В. Внукова, М. В. Барун // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 9 (91). – С. 45–55.
4. Емельянов В. Е. Альтернативные экологически чистые виды топлива для автомобилей. Свойства, разновидности, применение / В. Е. Емельянов, И. Ф. Крылов. – М. : Изд-во Астрель, АСТ, 2004. – 128 с.
5. Полянський С. К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин / С. К. Полянський, В. М. Коваленко. – К. : Либідь, 2005. – 504 с.
6. Данилов А. М. Применение присадок в топливах / А. М. Данилов. – М. : Мир, 2005. – 288 с.
7. Слободчиков В. В. Моторні палива з альтернативних енергетичних ресурсів / В. В. Слободчиков, М. М. Балака // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2015 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., 21–22 мая 2015 г. – Днепропетровск : НГУ, 2015. – С. 250–254.
8. Лютко В. Застосування альтернативних палив у дизельних двигунах / В. Лютко. – Івано-Франківськ : Полум'я, 2000. – 238 с.
9. Сафонов А. С. Автомобильные топлива: Химмотология, эксплуатационные свойства, ассортимент / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, И. В. Чечкенов. – СПб. : НПИКЦ, 2002. – 264 с.



10. Пліс В. Б. Водень як альтернативне моторне паливо / В. Б. Пліс, М. М. Балака // Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців : Міжнар. наук.-практ. конф., 19–20 жовт. 2017 р. : Тези доп. – Х. : ХНАДУ, 2017. – С. 209–210.
11. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение : справочник / [И. Г. Анисимов, К. М. Бадаштова, С. А. Бнатов и др.] ; под ред. В. М. Школьников. – М. : Техинформ, 1999. – 596 с.