

А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, І.В. Рикова

ЕВОЛЮЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ДИЗЕЛІВ АВТОТРАНСПОРТУ: ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

На прикладі найбільш поширених у використанні дизельних двигунів вантажного автомобільного транспорту розглянуто вимоги, що ставляться до екологічних та економічних показників цих двигунів, еволюційний їх розвиток за останні десятиріччя та, відповідно, зміну впливу на навколишнє середовище і споживання природних ресурсів. Автомобільний транспорт за обсягом перевезень значно перевершує усі інші види транспорту та є основними споживачами дефіцитних вуглеводневих нафтових палив; і вважається найбільш суттєвими забруднювачем навколишньої атмосфери токсичними речовинами, що містяться у відпрацьованих газах двигунів.

За останні роки при розробці, впровадженні у виробництво та використанні в експлуатації впровадженні суттєві зміни, у конструкції, технології виготовлення, організації робочого процесу, вдосконалення систем дизельних двигунів, що забезпечують подачу палива і повітря, очистку відпрацьованих газів від шкідливих викидів в навколишнє середовище. Аналіз зміни вимог, досягнутого рівня економічних і екологічних показників дизельних двигунів вантажного автотранспорту проведено за допомогою паливно-екологічного критерію.

Наведені розрахунки і узагальнення отриманих результатів дослідження дають змогу визначити зміни у витратах на паливо та відшкодування екологічних збитків від шкідливої дії відпрацьованих газів двигунів на навколишнє середовище при вироблені одиниці потужності в експлуатації, коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних витрат, безпосередньо паливно-екологічного критерію та навести кількісну оцінку про еволюційний розвиток дизельних двигунів вантажних автомобілів. За результатами виконаного дослідження встановлено, що паливно-екологічна ефективність дизельних двигунів вантажних автомобілів за останні 30 років зросла у 4,17 рази, головним чином за рахунок зменшення викидів в навколишнє середовище шкідливих речовин відпрацьованих газів.

Ключові слова: *двигуни внутрішнього згоряння; паливна економічність; токсичність відпрацьованих газів; середньо-експлуатаційний ефективний коефіцієнт корисної дії, паливно-екологічний критерій*

Вступ

Двигунам внутрішнього згоряння, як одного з основних джерел негативного впливу на людину і забруднення навколишнього середовища в останній час приділяється значна увага. Дійсно, завдяки ряду переваг, пов'язаних з мобільністю, економічністю, надійністю, ресурсом в експлуатації в цей час ці двигуни знайшли широке розповсюдження і забезпечують основні потреби людства в механічній енергії [1, 2]. Найбільш широке застосування двигуни внутрішнього згоряння отримали на автомобільному транспорті, який за обсягом перевезень перевершує залізничний, морський і авіаційний транспорт. Нині на частку автомобільного транспорту, який включає вантажні, легкові, спеціальні автомобілі та автобуси припадає понад 80 % перевезень у світі. При цьому більшість вантажних перевезень, як і автобусних, здійснюється при використанні надійних дизельних двигунів, які серед усіх теплових двигунів ще тримають і першість за показниками паливної економічності.

В останні роки при розробці, впровадженні у виробництво та використанні в експлуатації цих двигунів внесені суттєві зміни, пов'язані з вдосконаленням конструкції, технології, виготовлення, організації робочого процесу, оптимізації систем, що забезпечують подачу палива і повітря, очистку відпрацьованих газів (ВГ) від шкідливих викидів в навколишнє середовище [1, 3].

Реалізації цих заходів сприяє не тільки технічний прогрес та конкуренція між виробниками, але і вимоги щодо підвищення показників двигунів, в першу чергу, екологічних, які висуваються міжнародними організаціями.

Особливо значні зміни за останні 30 років ці вимоги торкнулися дизельних двигунів вантажного автомобільного транспорту. Проведений аналіз зміни вимог, досягнутого рівня економічних і екологічних показників дизельних двигунів вантажного автотранспорту проведено за допомогою паливно-екологічного критерію, що надає змогу дати оцінку впровадженим заходам, з точки зору збереження дефіцитних паливних ресурсів, забруднення навколишнього середовища, а також визначити перспективи результатів подальших досліджень у цьому й напрямку.

Метою роботи є узагальнення даних про динаміку змін показників паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів сучасних автотранспортних дизельних двигунів, визначення перспектив подальшого їх удосконалення для забезпечення зниження витрати пального в експлуатації та негативного впливу на людину та навколишнє середовище в експлуатації.

Вимоги, що ставляться до автомобільних двигунів

Автомобільний транспорт за обсягом перевезень значно перевершує усі інші види транспорту.

Головна частина транспортних перевезень припадає на вантажні автомобілі, для яких найбільш широкое застосування знайшли дизельні двигуни. Така тенденція, як об'єктивна складова технічного прогресу, має і негативні наслідки:

– по-перше, автомобільний транспорт є основними споживачами дефіцитних вуглеводневих нафтових палив;

–по-друге, саме автомобільний транспорт вважається найбільш суттєвими забруднювачами навколишньої атмосфери токсичними речовинами, що містяться у відпрацьованих газах (ВГ) двигунів.

Основними показниками для оцінки економічних показників автомобільних дизельних двигунів є годинна і питома витрати палива. Годинна витрата палива (G_n) визначає кількість витраченого палива під час роботи двигуна на заданому режимі протягом однієї години у кг/год. Якщо годинну витрату палива віднести до значення потужності на заданому фіксованому режимі двигуна, то одержимо питому витрату палива (g_e), яка визначається у (г/кВт·год).

Найбільш частіше для оцінки паливної економічності двигуна використовують значення питомої витрати палива при номінальній потужності ($g_{ен}$). Значення питомої витрати палива при номінальній потужності дозволяє визначити ступінь доведеності робочого процесу і відносний рівень паливної ефективності двигуна в експлуатації. Проте це значення відрізняється від питомої експлуатаційної витрати палива, так як не враховує витрату палива на часткових навантаженнях. Але із врахуванням того, що сучасні автомобільні дизелі оснащені системами регулювання в залежності від режиму роботи (в першу чергу, систем паливоподачі і повітропостачання), цей показник надає достатньо достовірну інформацію про відносний рівень експлуатаційної паливної економічності автомобільного дизельного двигуна.

Паливно-екологічна ефективність автомобільного транспорту в експлуатації визначається також витратою палива (кг або літр на 100 км) та викида-

ми шкідливих речовин за циклом випробувань, який в достатній мірі відповідає умовам експлуатації.

Що стосується викидів шкідливих викидів, то необхідно відмітити, що до складу ВГ дизельних двигунів входить значна кількість шкідливих компонентів, найбільш суттєвими серед яких вважаються оксиди азоту (NO_x), монооксид вуглецю (CO), вуглеводні (C_nH_m), сполуки сірки (SO_x), а також тверді частинки (ТЧ), які включають в себе канцерогенні речовини.

Законодавчі обмеження рівня екологічних показників двигунів встановлюються нормативною документацією, в якій наведені вимоги та положення щодо умов проведення випробувань, до галузі застосування і терміну дії стандарту, засобів вимірювань, правил обробки результатів випробувань та характеристики застосованого палива.

Серед шкідливих речовин відпрацьованих газів, які перелічені вище, не нормуються лише оксиди сірки (SO_x). Утворення SO_x пов'язано з наявністю сірки у паливі, але наявність SO_x не відповідає вимогам до дизельного палива, яке призначено для двигунів автомобільного транспорту.

Необхідно додати, що двигуни автотранспорту, як і інші теплові енергетичні установки викидають до атмосфери значну кількість діоксиду вуглецю (CO_2), який хоча і не вважається токсичною речовиною [4, 5, 6], але, як відомо, може впливати на підвищення температури атмосфери нашої планети і тому має вплив на формування парникового ефекту.

Аналіз рівня економічних і екологічних показників дизельних двигунів вантажного автотранспорту

Аналіз зміни рівня екологічних показників дизельних двигунів вантажного автотранспорту за останні 30 років проведемо за даними зміни вимог, а, відповідно, і рівня екологічних показників дизельних двигунів вантажного автотранспорту, згідно нормативів Правил ЕСК ООН (таблиця 1).

Таблиця 1. Вимоги до викиду шкідливих речовин з ВГ дизельних двигунів транспортних засобів серійного виробництва згідно нормативам, що діяли і діють в Європі.

Стандарти (АТЗ з повною масою понад 3,5 т)	Питомі викиди токсидів, (г/(кВт·год))			
	NO_x	CO	C_nH_m	PM (ТЧ)
Євро-0 (з 1990 р.)	14,4	11,2	2,4	0,7
Євро-I (до 01.10.1995 р.)	8,0	4,9	1,23	0,40
Євро-II (з 01.10.1995 р.)	7,0	4,0	1,10	0,25
Євро-III (з 01.10.2000 р.)	5,0	2,1	0,66	0,13
Євро-IV (з 2005 р.)	3,5	1,5	0,46	0,02
Євро-V (з 2008 р.)	2,0	1,5	0,25	0,02
Євро-VI (з 2015 р.)	0,4	1,5	0,13	0,01

Що стосується стандарту Євро-VII, то цей стандарт ще в стадії узгодження [7, 8]. Але і з наведених даних бачимо, що подальше посилювати вимоги, особливо щодо викидів твердих частинок, практично нікуди. Можна лише зазначити, що вказані норми відповідають рівню показників двигунів, що впроваджені (або готуються до впровадження провідними фірмами у виробництво, тобто з одного боку жорсткість норм – це реалізація напрямку з покращення стану навколишнього середовища, з другого має економічні цілі – тиск на конкурентів-виробників двигунів.

Відповідно до вимог Правил ЕСК ООН випробування автомобільних дизелів проводяться на

моторному стенді за циклом ESC – Європейський стаціонарний випробувальний цикл (European Steady State Cycle), який складається з 13 стаціонарних режимів, що враховують реальні умови експлуатації дизельних двигунів вантажних автомобілів. Згідно методики цього циклу випробування проводяться з навантаженням при трьох частотах обертання колінчастого валу, що зміщені у бік нижчих значень.

За даними, наведеними у таблиці 1 побудовано графік (рис.1), що надає наглядну динаміку зміни (поліпшення) екологічних якостей дизельного двигунів вантажних автомобілів з 1990 по 2020 роки.

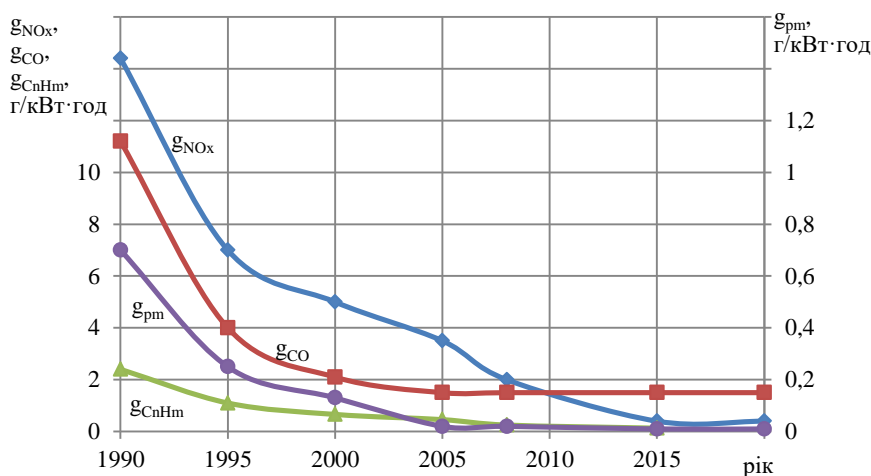


Рис. 1. Зміна вимог щодо викидів шкідливих речовин з ВГ дизельних двигунів транспортних засобів згідно нормативам, що діють в Європі

З графіку випливає, що за останні роки вимоги, а, відповідно, і екологічні показники дизельних двигунів автотранспорту значно змінилися – зменшилися у 3 – 5 разів для викидів з відпрацьованими газами NO_x , CO , C_nH_m і у 40 разів (!) щодо викидів твердих частинок (ТЧ).

Аналіз і динаміку зміни економічних показників дизельних двигунів вантажних автомобілів проведено з узагальненням даних щодо витрати палива сучасних чотиритактних двигунів з об'ємом циліндрів 7,5–10 л. До таких двигунів відноситься і вітчизняний двигун 6ЧН12/14. Необхідно додати, що шестициліндрові рядні двигуни такої розмірності (або близькою до нього) достатньо широко представлені на ринку автомобільних двигунів.

У конструкціях сучасних автомобільних двигунів застосовані найпрогресивніші рішення. До таких рішень слід віднести, безпосереднє впорскування палива при підвищеному рівні тиску впорскування палива, впровадження газотурбінного наддуву, проміжного охолодження наддувального повіт-

ря, системи регулювання фаз газорозподілу та інші рішення, спрямовані на покращення робочого процесу і підвищення ефективності конструктивних елементів двигунів та високотехнологічних систем керування двигуном.

В результаті, якщо у 1990 році на режимі номінальної потужності дизельні двигуни вантажних автомобілів мали рівень ефективної витрати палива $g_{ен} = 218 - 222$ г/(кВт·год), то подальше удосконалення цих двигунів забезпечило у 2000 році значення цього показника на рівні $g_{ен} = 215 - 217$ г/(кВт·год) [1]. У 2020 цей показник дорівнював $g_{ен} = 211 - 213$ г/(кВт·год).

Таким чином, динаміка підвищення паливної економічності двигунів автотранспорту за останні 30 років оцінюється у 4 – 6 %. Проте можна прогнозувати, що рівень еволюції показників паливної економічності автомобільних дизельних двигунів з підвищенням його ефективного ККД (зараз цей показник знаходиться на рівні близькому до $\eta_{ен} = 0,4$) буде зменшуватися.

Методика оцінки і результати визначення динаміки підвищення економічних і екологічних показників дизельних двигунів автотранспорту. Для визначення рівня і динаміки підвищення економічних і екологічних показників дизельних двигунів автотранспорту використано методику комплексної паливно-екологічної оцінки, що викладено у роботах [1,2], а також наведені вище дані із законодавчого обмеження щодо рівня викиду шкідливих речовин з відпрацьованими газами і зміни рівня значення питомої витрати палива при номінальній потужності ($g_{\text{ен}}$) за останні 30 років.

Відповідно до вказаної методики порівняльну оцінку рівня паливних і екологічних показників дизельних двигунів проводять при незмінних умовах експлуатації (моделі експлуатації), з урахуванням даних, що характеризують особливості території, розсіювання газів в атмосфері, характеристики та ціни дизельного пального. Останнє особливо важливо, тому що інакше на комплексну оцінку технічного рівня двигунів буде значною мірою впливати нетехнічні економічні аспекти.

Основним показником вказаної оцінки є паливно-екологічний критерій, який визначається за формулою:

$$K_{\text{ПЕ}} = \eta_{\text{е.сер.експ}} \cdot \beta.$$

В наведеній формулі $\eta_{\text{е.сер.експ}}$ – середньо-експлуатаційний ефективний коефіцієнт корисної дії, β – коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних витрат, який враховує частку витрат на відшкодування екологічних збитків від шкідливого діяння на навколишнє середовище ВГ дизельного двигуна у сумарних витратах на паливо й відшкодування екологічних збитків.

Коефіцієнт β визначається за виразом:

$$\beta = B_{\text{пал.}} / B_{\text{пал.екол.}}$$

де $B_{\text{пал.}}$ і $B_{\text{пал.екол.}}$ – відповідно витрати на паливо і сумарні витрати на паливо і відшкодування екологічних збитків від шкідливої дії ВГ на навколишнє середовище при експлуатації автомобіля, віднесені до одиниці потужності.

Екологічні збитки – це збитки у грошовому еквіваленті, що безпосередньо пов'язані із негативним впливом на довкілля в експлуатації автотранспорту і які у проведених розрахунках визначаються на одиницю енергії виробленої двигуном.

Середньо-експлуатаційний ефективний коефіцієнт корисної дії визначається за залежністю

$$\eta_{\text{е.сер.експ}} = \frac{360}{H_u \cdot g_{\text{е.сер.експ}}},$$

де H_u – нижча теплота згоряння палива (для дизелів вантажних автомобілів в розрахунках вона приймається 42,7 мДж/кг), а $g_{\text{е.сер.експ}}$ кг/(кВт·год) – питома

середньо-експлуатаційна витрата палива, яку можна визначити, наприклад, при стендових випробуваннях на представницьких режимах роботи двигуна, обраних відповідно до моделі його експлуатації. До таких моделей експлуатації можна віднести, як про це вже визначалося, цикли випробувань двигунів (наприклад цикл ESC).

За результатами проведених численних випробувань дизельного двигуна 6ЧН12/14 [1], призначеного для автомобілів КраЗ встановлено, що значення $g_{\text{е.сер.екс}}$, яке розраховується за моделлю експлуатації двигуна вантажного автомобіля, дорівнює (1,04 – 1,06) від $g_{\text{ен}}$. У виконаних розрахунках приймаємо:

$$g_{\text{е.сер.екс}} = 0,105 g_{\text{ен}}.$$

Якщо відомі паливна економічність двигуна в експлуатації $g_{\text{е.сер.екс}}$ та ціна на паливо $\Pi_{\text{пал}}$, то можна визначити витрати на паливо при виробництві одиниці енергії в експлуатації $B_{\text{пал}}$:

$$B_{\text{пал}} = g_{\text{е.сер.екс}} \Pi_{\text{пал}}.$$

Для скасування впливу на комплексну оцінку технічного рівня двигунів економічних аспектів, ціна на дизельне паливо при розрахунках приймалася незмінною (на середньому рівні цього року) – $\Pi_{\text{пал}} = 53,0$ грн/кг.

Враховуючі те, що також відомі значення, що обмежують масовий викид шкідливих речовин дизельних двигунів вантажних автомобілів в експлуатації за період з 1990 по 2020 роки (табл. 1 та рис.1), можемо визначити витрати на відшкодування збитків від впливу токсичних речовин ВГ двигуна на людину і навколишнє середовище по роках у цей період. При оцінці даної складової критерію виходимо з того, що основними шкідливими компонентами ВГ дизелів вантажного автотранспорту є NO_x , C_nH_m , CO і TЧ .

Агресивність кожної із шкідливих речовин ВГ залежить від гранично допустимої концентрації цієї речовини у атмосферному повітрі. Оцінка проведеної питомої маси викиду шкідливих речовин ВГ автомобільних дизелів проведена при наступних показниках відносної агресивності: $A_{\text{CO}} = 1$; $A_{\text{C}_n\text{H}_m} = 3,16$, $A_{\text{NO}_x} = 41,1$; $A_{\text{TЧ}} = 200$ [2].

Показник відносної безпеки залежно від класифікації територій σ і може змінюватися від 0,25 (для богарних полів) до 10 (території курортів і санаторій). В наших розрахунках приймаємо $\sigma = 2,5$, як середнє значення між показниками для територій приміських зон ($\sigma = 1,0$) і промислових підприємств ($\sigma = 4,0$). Що стосується коефіцієнта, який враховує характер розсіювання ВГ в атмосфері, то відповідно рекомендацій [1, 2] приймаємо $f = 1,0$.

Витрати на відшкодування екологічних збит-

ків від шкідливої дії ВГ двигунів на навколишнє середовище при вироблені одиниці потужності визначаються за формулою

$$B_{\text{екол}} = \delta \cdot \sigma \cdot f \cdot g_{\text{шр.пр.}}, \text{ (грн/кВт-год)}.$$

Тут δ – розмірний коефіцієнт для переведення бальної оцінки збитків у вартісну, що відповідає ціні дизельного пального, а $g_{\text{шр.пр.}}$ – приведена питома маса викиду шкідливих речовин з урахуванням їх відносної агресивності у г/кВт, яка визначається залежністю

$$g_{\text{шр.пр.}} = g_{\text{CO}} A_{\text{CO}} + g_{\text{CnHm}} A_{\text{CnHm}} + g_{\text{NOx}} A_{\text{NOx}} + g_{\text{TЧ}} A_{\text{TЧ}},$$

де $A_{\text{CO}}, A_{\text{CnHm}}, A_{\text{CnHm}}, A_{\text{TЧ}}$ – показник відносної агресивності кожного з компонентів токсичних викидів з ВГ дизелів; $g_{\text{CO}}, g_{\text{CnHm}}, g_{\text{NOx}}, g_{\text{TЧ}}$ – питома маса викиду кожного компонента (г/кВт год), яка в розрахунках приймалася рівною значенням нормованих шкідливих речовин у відповідності до діючих по

роках нормам.

Оцінку зміни технічного рівня автомобільних дизельних двигунів як джерел, що споживають дизельне пальне і забруднюють навколишнє середовище за останні 30 років проведено розрахунково за методикою, викладеною у роботах [1,2] з урахуванням зміни експлуатаційної витрати палива, масового викиду токсичних компонентів ВГ, їх агресивності і нанесеного збитку.

Зміна рівня середньо-експлуатаційної витрати палива дизельного двигуна вантажного автомобіля за останні 30 років при розрахунках визначалася із графіка (рис 2.).

Показники паливної економічності дизельного двигуна вантажного автомобіля за останні 30 років, які були використані при розрахунках, наведені в таблиці 2.

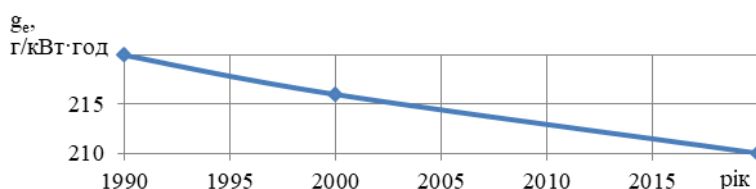


Рис. 2 Зміна середньо-експлуатаційної витрати палива дизельного двигуна вантажного автомобіля

Таблиця 2. Зміна показників паливної економічності дизельного двигуна вантажного автомобіля

Рік	g_e , г/кВт год	$g_{e \text{ екс}}$, г/кВт год	$\eta_{e \text{ екс}}$	$B_{\text{пал}}$, грн/кВт год
1990	220	231	0,383	11,66
2000	216	226,8	0,390	11,45
2010	213	223,65	0,396	11,28
2020	211	221,55	0,399	11,18

Значення екологічних показників дизельного двигуна вантажного автомобіля за останні 30 років,

які були використані при розрахунках, наведені в таблиці 3 і на рис.1.

Таблиця 3. Зміна екологічних показників дизельного двигуна вантажного автомобіля

Рік	g_{NOx} , г/кВт год	g_{CO} , г/кВт год	g_{CnHm} , г/кВт год	$g_{\text{TЧ}}$, грн/кВт год	$g_{\text{NOx}} A_{\text{NOx}}$	$g_{\text{CO}} A_{\text{CO}}$	$g_{\text{CnHm}} A_{\text{CnHm}}$	$g_{\text{PM}} A_{\text{PM}}$	ΣgA	$B_{\text{екол}}$, грн/кВт год
1990	14,4	11,2	2,4	0,7	591,8	11,2	7,6	140	750,6	39,78
2000	5,0	2,1	0,66	0,13	205,5	2,1	2,1	26	235,7	12,49
2010	2,0	1,5	0,25	0,02	82,2	1,5	0,8	4	88,5	4,69
2020	0,4	1,5	0,13	0,01	16,4	1,5	0,4	2	20,3	1,08

Отримані розрахункові дані (таблиці 2 і 3) надають змогу визначити зміну коефіцієнту відносних експлуатаційних екологічних витрат (β) і пали-

вно-екологічний критерій ($K_{\text{ПЕ}}$). Результати розрахунків цих показників наведено в таблиці 4 і на рисунках 3 і 4.

Таблиця 4. Зміна коефіцієнту відносних експлуатаційних екологічних витрат і паливно-екологічного критерію дизельного двигуна вантажного автомобіля за останні 30 років

Рік	β	$K_{ПЕ}$
1990	0,227	0,087
2000	0,478	0,186
2010	0,706	0,280
2020	0,912	0,363

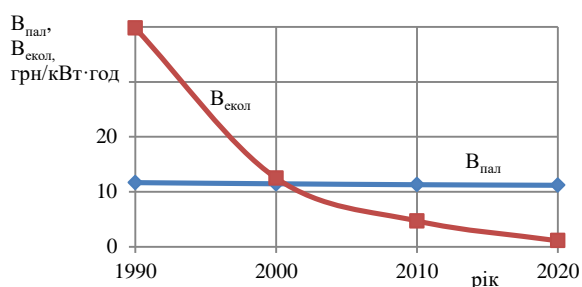


Рис. 3. Зміна витрат на паливо і витрат на відшкодування екологічних збитків дизельного двигуна вантажного автомобіля

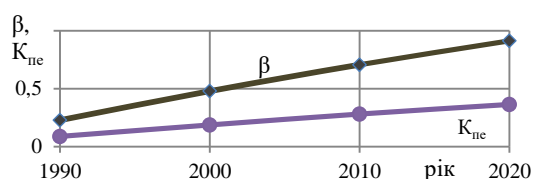


Рис. 4. Зміна коефіцієнту відносних експлуатаційних екологічних витрат і паливно-екологічного критерію дизельного двигуна вантажного автомобіля

Узагальнюючі отриманні розрахункові дані щодо визначення і змін витрат на паливо та відшкодування екологічних збитків від шкідливої дії ВГ двигунів на навколишнє середовище при виробленні одиниці потужності в експлуатації, коефіцієнта відносних експлуатаційних екологічних витрат і паливно-екологічного критерію дизельного двигуна вантажного автомобіля за останні 30 років можна констатувати наступне:

– питома середньо-експлуатаційна витрата палива при експлуатації дизельних двигунів вантажних автомобілів поступово знижувалися – на 2,5 – 4,0 грами за 5 років. При чому динаміка покращення паливної економічності зменшується, що є логічним фактором при зростанні експлуатаційного ККД дизельного двигуна та наближення його значення до максимально-можливого;

– екологічні показники дизельних двигунів вантажних автомобілів покращилися у значній мірі, особливо це стосується найбільш агресивних токсичних викидів – твердих частинок і оксидів азоту; рівень шкідливих викидів усіх нормованих токсичних речовин наближається до мінімуму, який можна забезпечити за рахунок удосконалення робочого процесу і систем очистки та нейтралізації відпрацьованих газів двигунів;

– зміна витрат на паливо в експлуатації, при умові незмінної ціни на паливо, зменшилася незначно у порівнянні із витратами на відшкодування екологічних збитків дизельних двигунів вантажних автомобілів;

– завдяки суттєвому зменшенню витрат на відшкодування екологічних збитків і незначного зменшення витрат на паливо в експлуатації дизельних двигунів вантажних автомобілів коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних витрат зростає.

– зростання коефіцієнту відносних експлуатаційних екологічних витрат, а також в деякій мірі середньо-експлуатаційного ефективного коефіцієнта корисної дії **приводить до** росту і паливно-екологічного критерію дизельних двигунів вантажних автомобілів; якщо у 1990 році його значення було 0,087, то у 2020 році – 0,363.

Тобто можна констатувати, що паливно-екологічна ефективність дизельних двигунів вантажних автомобілів за останні 30 років зросла у 4,17 рази.

Проте, як відомо, до двигунів внутрішнього згоряння в цей час висувуються значні претензії щодо викиду в навколишнє середовище при експлуатації значної кількості парникового газу – CO_2 . CO_2 не відноситься до токсичних речовин [4, 9, 10], але враховуючи стурбованість наукової і значною мірою ненаукової спільноти відносно цієї проблеми, автори вважають за необхідність проведення досліджень та запропонування методик, що буде давати об'єктивні дані щодо впливу на комплексний критерій і, відповідно, на людство та навколишнє середовище викиду діоксидів вуглецю.

Подальша еволюція паливно-екологічних показників дизельних двигунів значною мірою пов'язана як з підвищенням їх паливної економічності, так і з покращенням характеристик палив, включаючи використання альтернативних палив, якщо це паливо за ціною ці палива не буде значно відрізнятися (в сторону зростання) від нафтового палива.

Реалізації вказаних заходів щодо комплексного підвищення паливно-екологічних показників сприяє не тільки технічний прогрес та конкуренція

між виробниками, але і вимоги щодо показників двигунів, в першу чергу, екологічних, які ставляться до сучасних двигунів міжнародними організаціями.

Виходячи з цього, еволюційний розвиток дизельних двигунів пов'язаний з подальшим їх удосконаленням, яке забезпечується підвищенням економічних показників (зниження витрати пального), енергетичних показників (збільшення літрової потужності) та екологічними показниками (зниження негативного впливу на людуство, навколишнє середовище і глобальне потепління).

Висновки

Еволюція сучасних дизельних двигунів, які розроблені, впроваджені у виробництво та використовуються в експлуатації, забезпечується за рахунок вдосконалення конструкції, технології виготовлення, організації робочого процесу, систем подачі палива і повітря, очистки відпрацьованих газів від шкідливих викидів в навколишнє середовище. За своїми паливно-екологічними показниками сучасні двигуни суттєво відрізняються від своїх попередників.

Надана оцінка з використанням паливно-екологічного критерію показала, що цей показник для автомобільних дизельних двигунів останні 30 років збільшився у 4,17 рази, головним чином за рахунок зменшення викидів в навколишнє середовище шкідливих речовин з відпрацьованими газами. При чому рівень нормованих екологічних показників наближається до свого можливого мінімуму.

Водночас, покращуються, але з меншою інтенсивністю показники паливної економічності. Можна прогнозувати, що рівень підвищення паливно-економічної ефективності подальше буде спадати.

З урахуванням сучасних вимог до зменшення викидів в навколишнє середовище парникового газу (CO₂) саме питанню декарбонізації в перспективі буде приділятися найбільша увага при розробці, виготовленні і експлуатації дизельних двигунів автотранспорту.

Список літератури:

1. Двигуни внутрішнього згорання : серія підручників у 6 т. Т. 5: Екологізація ДВЗ: підручник / А. П. Марченко, Парсаданов І.В., Товажнянський Л.Л., Шеховцов А.Ф.; ред. А. П. Марченко; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – 2-ге вид. – Харків : НТУ "ХПІ", 2014. – 348 с. 2. Zhao F. *Challenges, Potential and Opportunities for Internal Combustion Engines in China* / Zhao F., Chen K. Hao H.; Liu Z. *Challenges* // *Sustainability*. – 2020. – 12: 4955. <https://doi.org/10.3390/su12124955>. 3. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію:

Монографія / І.В. Парсаданов.– Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2003.–244 с. 4. Канило П.М. Глобальное потепление климата. Антропогенно-экологическая реальность: монография / П.М. Канило.– Х.: ХНАДУ, 2015.- 312 с. 5. Парсаданов І.В. Урахування шкідливої дії діоксиду вуглецю при комплексній оцінці витрати палива і токсичності відпрацьованих газів дизельних двигунів / Парсаданов І.В., Рикова І.В. // Двигуни внутрішнього згорання. – 2022. – №1. – С.35-40. 6. Serrano J.R. *Why the Development of Internal Combustion Engines Is Still Necessary to Fight against Global Climate Change from the Perspective of Transportation* / J.R. Serrano, R. Novella, P. Piqueras // *Appl. Sci.* – 2019. – 9(12): 4597. <https://doi.org/10.3390/app9214597>. 7. Проблеми низьких автомобільних стандартів в Україні // Еколого-транспортні проблеми сучасної України: Міжнародний Центр Перспективних Досліджень, Київ. – 2020 – С. 5 - 12. – Режим доступу: https://icps.com.ua/assets/uploads/images/files/ecology_a4_u_kr.pdf. 8. *Commission proposes new Euro 7 standards to reduce pollutant emissions from vehicles and improve air quality.* – available at: *An official website of the European Union* https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495. 9. *The Cost of Air Pollution. Health Impacts of Road Transport. OECD Multilingual Summaries, 2014.* – available at: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/9789264210448-sum-en/index.html?itemId=/content/component/9789264210448-sum-en>. doi: 10.1787/9789264210448-en. 10. *Health impacts of air pollution in Europe, 2022.* – available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution>.

Bibliography (transliterated):

1. Marchenko, A.P., Parsadanov, I.V., Tovazhnyansky, L.L., Shekhovtsov, A.F. (2014), *Internal combustion engines: A series of textbooks in 6 volumes. V.5. The Environmentalization of ICE. 2nd ed. Kharkov [Dvyhuny vnutrishnoho zghoriannya: Seriya pidruchnykiv u 6 tomakh, T. 5 Ekolohizatsiia DVZ – 2-e vydannia], NTU "KPI" publishing center, 348p.* 2. Zhao, F.; Chen, K.; Hao, H.; Liu, Z. (2020), «Challenges, Potential and Opportunities for Internal Combustion Engines in China», *Sustainability*, 12, 4955. <https://doi.org/10.3390/su12124955>. 3. Parsadanov I.V. (2003), *Improving the quality and competitiveness of diesel engines based on an integrated fuel and environmental criterion: monograph [Povysheniye kachestva i konkurentosposobnosti dizeley na osnove kompleksnogo toplivno-ekologicheskogo kriteriya: monohrafiya], NTU "KhPI", Kharkiv, 244 p.* 4. Kaniilo, P.M. (2015), *Global climate warming. Anthropogenic - ecological reality: monograph [Hlobalnoe potepleniye klymata. Antropohenno – ekolohycheskaia realnost: monohrafiya], Kh.: KhNADU, 312 p.* 5. Parsadanov, I.V., Rykova, I.V. (2022), "Taking into account the harmful effect of carbon dioxide in the comprehensive assessment of fuel consumption and toxicity of exhaust gases of diesel engines" ["Urahuvannia shkidlyvoi dii dioksydu vuhletsiu pry kompleksnoi otsintsi vytraty palyva i toksychnosti vidpratsovanykh haziv dyzelnykh dvyhunyiv"], *Internal combustion engines*, No. 1, p.p.35-40. 6. Serrano, J.R.; Novella, R.; Piqueras, P. (2019), «Why the Development of Internal Combustion Engines Is Still Necessary to Fight against Global Climate Change from the Perspective of Transportation», *Appl. Sci.*, 9(12), 4597. <https://doi.org/10.3390/app9214597>. 7. (2020), *Problems of low automobile standards in Ukraine. [Problemy nyzkykh avtomobilnykh standartiv v Ukraini], Environmental and transport problems of modern Ukraine: International Center for Prospective Studies, Kyiv,*

p.p.5-12, available at: https://icps.com.ua/assets/uploads/images/files/ecology_a4_ukr.pdf.
8. «Commission proposes new Euro 7 standards to reduce pollutant emissions from vehicles and improve air quality», available at: An official website of the European Union https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495.
9. (2014), «The Cost of Air Pollution. Health Impacts of Road

Transport». OECD Multilingual Summaries, available at: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/9789264210448-sum-en/index.html?itemId=/content/component/9789264210448-sum-en>.
10. (2022), «Health impacts of air pollution in Europe», available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution>.

Надійшла до редакції 03.07.2023 р.

Марченко Андрій Петрович – доктор техн. наук, професор, проректор з наукової роботи Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: marchenkoandrey1951@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9746-4634>.

Парсаданов Ігор Володимирович – доктор техн. наук, проф., головний наук. співр. кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: igor.parsadanov@khp.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0003-0587-4033>.

Рикова Інна Віталіївна – канд. техн. наук, с.н.с., старший наук. співр. кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: inna.rykova@khp.edu.ua; <http://orcid.org/0000-0002-5348-8199>.

EVOLUTIONARY DEVELOPMENT OF MOTOR TRANSPORT DIESELS: ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC INDICATORS

A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, I.V. Rykova

On the example of the most common in the use of diesel engines of commercial vehicles, the requirements for environmental and economic indicators, their evolutionary development over the past decades and, accordingly, changes in the impact on the environment and in the consumption of natural resources are considered. Road transport in terms of traffic significantly exceeds all other modes of transport, is the main consumer of scarce hydrocarbon oil fuels; and is considered the most significant pollutant of the surrounding atmosphere with toxic substances contained in the exhaust gases of engines.

In recent years, during the development, implementation in production and use in operation, there have been significant changes in the design, technology, manufacturing, organization of the workflow, improvement of diesel engine systems that provide fuel and air supply, purification of exhaust gases from harmful emissions into the environment. The analysis of changes in requirements, the level of achieved economic and environmental performance of diesel engines of trucks, was carried out using the fuel-environmental criterion. The calculation data and the generalization of the results of the study made it possible to determine changes in the cost of fuel and compensation for environmental damage from the harmful effects of engine exhaust gases on the environment, related to a unit of power in operation, the coefficient of relative operating environmental costs, directly fuel-environmental criterion and to give a quantitative assessment of the evolutionary development of diesel engines of trucks. It has been established that the fuel and environmental efficiency of diesel engines of trucks over the past 30 years has increased by 4.17 times, mainly due to the reduction of harmful emissions into the environment with exhaust gases.

Key words: internal combustion engines; fuel economy; toxicity of exhaust gases; fuel and ecological criterion