

А.В. Савченко, Д.С. Таланін

ЗНИЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО СЛІДУ ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ПАЛИВА РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

У статті розглянуто вплив застосування альтернативних палив рослинного походження на енергоефективність, екологічні показники та процеси згоряння в автотракторному дизелі. Актуальність теми зумовлена потребою зниження вуглецевого сліду дизельних двигунів у контексті посилення вимог до викидів парникових газів, підвищення енергетичної незалежності та забезпечення паливної автономності критичних секторів економіки. Основну увагу приділено оцінці експлуатаційних характеристик дизеля при роботі на паливних сумішах, що містять метилові ефіри жирних кислот (FAME) та гідроочищену рослинну олію (HVO), у порівнянні з традиційним дизельним паливом нафтового походження. Проведено огляд фізико-хімічних властивостей зазначених палив, зокрема: густини, питомої нижчої теплоти згоряння, цетанового числа, в'язкості, температури спалахування, вмісту кисню, співвідношення маси вуглецю до водню. Розглянуто конструктивно-технологічні обмеження на їх застосування у сучасних дизелях. Виконано оцінку ефективності внутрішнього кисню у FAME у процесі згоряння на основі аналізу хімічної структури, термічної стабільності ефірних груп та кінетичних умов у камері згоряння. Математичне моделювання робочого процесу дизеля 4CH10,7/12,4 здійснено у програмному комплексі Blitz-PRO з використанням реальних властивостей сумішей та розрахункових параметрів паливної апаратури. Проаналізовано зміни індикаторного та ефективного коефіцієнта корисної дії (ККД), питомої витрати палива, максимального тиску циклу, швидкості зростання тиску в циліндрі, періоду затримки спалахування та питомих викидів CO₂. Встановлено, що при збільшенні частки HVO у суміші спостерігається суттєве зменшення жорсткості робочого процесу (до 30%) завдяки високому цетановому числу. Водночас незначне зниження ККД пов'язано переважно зі зменшенням об'ємної теплоти згоряння та зміщенням закону тепловиділення у пізні фази циклу. Проаналізовано викиди CO₂ при роботі на різних сумішах: можливе скорочення до 6% при використанні чистого HVO. Повний життєвий цикл від вирощування сировини до виробництва пального потенційно дає змогу досягти скорочення викидів на 15–55% порівняно з дизельним паливом нафтового походження, відповідно до даних уряду Великої Британії. Отримані результати підтверджують доцільність використання палив з відновлювальних джерел у дизельних двигунах як інструменту зниження вуглецевого сліду без суттєвих втрат енергоефективності.

Ключові слова: альтернативні палива; дизель; парникові гази; HVO; FAME; теплотворна здатність; тривалентність впорскування; вуглецевий слід; коефіцієнт корисної дії.

Вступ

На сьогодні в Україні є підвищена потреба у важкій транспортній та інженерно-будівельній техніці, що обумовлена необхідністю швидкого переміщення вантажів військового призначення, побудови інженерно-фортифікаційних споруд, відновлення пошкоджень від бойових дій та відбудови економіки в цілому.

В Світі актуальною є задача щодо скорочення споживання палива нафтового походження енергетичними установками транспортних засобів, інженерної та будівельної техніки. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є впровадження альтернативних палив, особливо з відновлювальних джерел. Окрім позитивного впливу на навколишнє середовище, такі заходи дають змогу в разі необхідності забезпечити паливом Сили Оборони та критичні сектори економіки без використання нафти в якості сировини, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності та обороноспроможності України.

Аналіз стану проблеми

В Світі впроваджуються обмеження питомих викидів вуглекислого газу (CO₂) енергетичними установками з ДВЗ в рамках боротьби з всесвітнім потеплінням шляхом зменшення парникового ефек-

кту [1, 2]. Варто відзначити, що в рамках таких заходів доцільно було б розглядати рівень питомих викидів вуглекислого газу енергетичною установкою з ДВЗ не лише в процесі експлуатації, а в рамках повного циклу отримання сировини, її обробки та процесу виготовлення палива. Такий підхід відображатиме ще одну перевагу альтернативних палив для ДВЗ з відновлювальної сировини рослинного походження – поглинання рослинами в процесі росту кількості вуглекислого газу (і виділення до атмосфери продуктів його переробки – молекулярного кисню), що співставна з тією кількістю CO₂, яка утворюється при згорянні палива з цих рослин [3, 4]. Звісно, що виконати точну оцінку впливу використання альтернативних палив з рослинної сировини на баланс CO₂ в атмосфері достатньо складно, оскільки необхідно було б враховувати велику кількість факторів і зібрати велику кількість даних. Так, наприклад, кількість вуглекислого газу, що споживає рослина варіюється в залежності від виду та сорту, властивостей ґрунту, вологості, тощо. Окрім того, подібна оцінка має враховувати який відсоток маси рослини використовується для виробництва альтернативного палива та яка витрата такої сировини на виробництво одини-

ці маси палива. Важливо також враховувати можливі викиди вуглекислого газу до атмосфери в ході виробництва палива, в разі їх наявності.

За даними уряду Великої Британії може бути досягнуто скорочення на 15,2...55,8 % питомого викиду CO₂ на 1 МДж енергії в рамках повного циклу використання альтернативних палив рослинного походження в порівнянні з дизельним паливом (ДП) нафтового походження. [5].

За наявними даними, серед сировини для альтернативних відновлювальних палив рослинного походження в Україні за сукупністю властивостей та характеристик однією з найбільш доцільних для використання є ріпакова олія та продукти її переробки [6]. Важливо відзначити, що хоч теоретично ріпакова олія в чистому вигляді може використовуватись в якості палива для дизелів, проте, її використання в такому вигляді пов'язане з низкою проблем: інтенсивне утворення відкладень на елементах паливної апаратури, прискорена їх корозія, тощо. З метою уникнення вказаних вище проблем, в якості моторного палива (чи його компоненту) використовують продукти переробки рослинних олій: метилові ефіри жирних кислот (Fatty acid methyl esters – FAME), а також гідроочищену рослинну олію (Hydrotreated Vegetable Oil – HVO). Основні фізико-хімічні показники дизельного палива, FAME та HVO наведено в таблиці 1 [7].

Таблиця 1. Основні фізико-хімічні показники розглянутих палив

Назва показника	ДП	FAME	HVO
Густина за температури 15 °C, кг/м ³	837	0,882	0,764
Питома нижня теплота згоряння палива, кДж/кг	42800	38300	43700
Цетанове число	54,1	55,2	74,5
Температура спалахування в закритому тигелі, °C	70,5	165	66,3
Кінематична в'язкість за температури 20 °C, мм ² /с	2,94	4,43	2,88
Гранична температура фільтрування, °C	-22	-11	-44
Масова частка вуглецю в паливі, %	87,3	77,0	84,95
Масова частка водню в паливі, %	12,7	12,3	15,05
Масова частка кисню в паливі, %	0	10,7	0
Співвідношення мас С/Н	6,874	6,364	5,645

FAME це основна складова традиційного біодизеля, що виготовляють шляхом транстерифікації натуральних олій (рослинних або тваринних) із метанолом за наявності каталізатора. До недоліків FAME варто віднести недостатньо високу хімічну

стабільність, гігроскопічність та в деяких випадках схильність до утворення мікроорганізмів, що викликають швидке засмічення трубопроводів, фільтрів, тощо. З огляду на вказані вище недоліки, в переважній більшості дизелів в якості палива припустимо використовувати суміші із вмістом FAME не більше 7 % [8]. Для забезпечення роботи дизеля на суміші, що містить 10...20 % FAME, як правило, виробником передбачається комплекс заходів із модифікації системи живлення дизеля паливом. Для належної роботи дизеля на чистому FAME, як правило, необхідно виконати комплексну модифікацію двигуна в цілому.

Гідроочищений рослинний або тваринний жир (HVO) є синтетичним вуглеводневим дизельним паливом, одержаним шляхом гідрогенізації тригліцеридів та інших ліпідних сполук, що містяться в рослинних оліях або жирах тваринного походження. У процесі гідрогенізації кисневмісні функціональні групи в молекулах жирних кислот видаляються внаслідок реакції з воднем, що призводить до утворення насичених ациклічних вуглеводнів (здебільшого нормальних і ізопарафінів). Отримане паливо характеризується високим цетановим числом, відсутністю кисню в складі та повною сумісністю з сучасними дизельними двигунами без необхідності конструктивних змін. HVO має вищу стабільність при зберіганні та набагато вище цетанове число в порівнянні з FAME. Важливо також відзначити, що HVO є негігроскопічним, а отже, для нього не є характерною схильність до мікробіологічного забруднення. Вказані переваги HVO обумовлюють відсутність будь-яких обмежень на його вміст в суміші з традиційним дизельним паливом, в тому числі допускається використання 100 % HVO в дизелях без модифікацій системи живлення (drop-in fuel) [9].

Питома нижня теплота згоряння FAME на 10,5 % менша в порівнянні з традиційним дизельним паливом, що здебільшого обумовлено наявністю в структурі цього палива кисню. Наприклад, FAME на основі ріпакової олії містить близько 10,7 % кисню за масою. Проте, важливо відзначити, що окиснювальний потенціал цього кисню є відносно низьким. Основна причина обмеженої участі внутрішнього кисню в FAME у процесі згоряння полягає в хімічній стабільності ефірної групи, що потребує високих температур для термічного розпаду. Умови, притаманні процесу згоряння в дизелі не завжди забезпечують повний піроліз молекули до реакційноздатних радикалів у межах фази активного горіння. Як наслідок, вивільнення кисню з ефірної групи часто відбувається із запізненням після основного етапу окиснення. Крім то-

го, кисень, зв'язаний у структурі молекули, не має такої реакційної активності, як атмосферний O_2 або пероксидні радикали. Отже, його внесок у загальний окиснювальний потенціал пального є обмеженим і суттєво залежить від термічних і кінетичних умов у камері згоряння [10].

Співвідношення мас C/H в FAME приблизно на 7,5 % менше, ніж в ДП; для HVO C/H приблизно на 18 % менше, ніж ДП. Це має забезпечити суттєве скорочення питомих викидів CO_2 на одиницю теплової енергії від процесу повного згоряння палива.

До недоліків FAME також можна віднести високу граничну температуру фільтрування та значно вищу в'язкість в порівнянні з традиційним дизельним паливом нафтового походження, що накладає обмеження на експлуатацію в холодну пору року та може сприяти збільшенню максимального тиску впорскування палива. Питома нижня теплота згоряння FAME суттєво менша в порівнянні з традиційним дизельним паливом, що частково обумовлено наявністю в структурі цього палива кисню.

Натомість, HVO за своїми фізико-хімічними властивостями наближене до традиційного дизельного палива нафтового походження і може використовуватися в дизелях без жодних обмежень. За даними, які наведено в таблиці 1 видно, що питома нижня теплота згоряння HVO навіть перевищує значення для традиційного дизельного палива нафтового походження приблизно на 2 %, що здебільшого пояснюється збільшеним вмістом водню в структурі молекул палива.

До недоліків HVO варто віднести складність технології виготовлення, високу собівартість (при-

близно в 2 рази вище, ніж FAME), гіршу мастильну здатність в порівнянні з FAME чи нафтовим ДП, високі вимоги до якості сировини. Вказані вище недоліки обумовлюють обмежене на сьогодні використання HVO в якості палива для дизелів. HVO може використовуватися як в чистому вигляді, так і в складі сумішей з традиційним дизельним паливом нафтового походження, що також дає змогу суттєво покращити властивості палива та техніко-економічні характеристики дизеля.

Методика проведення досліджень

В рамках цього дослідження виконано оцінку впливу використання сумішей традиційного дизельного палива нафтового походження з FAME та HVO на робочий процес дизеля 4ЧН10,7/12,4 з використанням засобів математичного моделювання в програмному комплексі Blitz-PRO. Основні характеристики дизеля наведено в таблиці 2. Склад сумішей та їх властивості наведено в таблиці 3. Кінематична в'язкість сумішей розрахована за допомогою формули Тейлора (відображає логарифмічну адитивність реологічних властивостей компонентів).

Таблиця 2. Основні показники дизеля 4ЧН10,7/12,4

Показник	Значення
Діаметр циліндру, мм	107
Хід поршня, мм	124
Кількість циліндрів	4
Ступінь стиснення	17
Кінематичний параметр КШМ	0,323
Частота обертання колінчастого валу, $хв^{-1}$	2300
Ступінь підвищення тиску в компресорі агрегату наддуву	2,25

Таблиця 3. Суміші палив, що розглядалися, та їх властивості

Масові частки компонентів в суміші	100% ДП	90% ДП + 10% FAME	80% ДП + 20% FAME	80% ДП + 20% HVO	50% ДП + 50% HVO	100% HVO
Густина за температури 15 °С, $кг/м^3$	837	841,5	846	822,4	800,5	764
Питома нижня теплота згоряння палива, $кДж/кг$	42800	42350	41900	42980	43250	43700
Питома нижня теплота згоряння палива, $кДж/л$	35820	35620	35420	35340	34610	33390
Цетанове число	54,1	54,21	54,32	58,18	64,3	74,5
Кінематична в'язкість за температури 20 °С, $мм^2/с$	2,94	3,07	3,21	2,92	2,91	2,88
Масова частка вуглецю в паливі, %	87,3	86,27	85,24	86,83	86,125	84,95
Масова частка водню в паливі, %	12,7	12,64	12,58	13,17	13,875	15,05
Масова частка кисню в паливі, %	0	1,09	2,18	0	0	0

Результати дослідження

Результати математичного моделювання дизеля 4ЧН10,7/12,4 при роботі на паливних сумішах різного складу наведено в таблиці 4. З наведених даних видно, що використання сумішей ДП та HVO дає змогу значно скоротити період затримки

спалахування, що в свою чергу сприяє зменшенню максимальної швидкості тепловиділення (рис. 1) в ході періоду спалахування, а отже дає змогу забезпечити зменшення жорсткості робочого процесу – наприклад, використання чистого HVO дає змогу зменшити максимальну швидкість збільшення тис-

ку в циліндрі приблизно на 30 % (рис. 2). Вказаний вплив, насамперед, пояснюється суттєвим збіль-

шенням цетанового числа сумішей з HVO в порівнянні з чистим ДП.

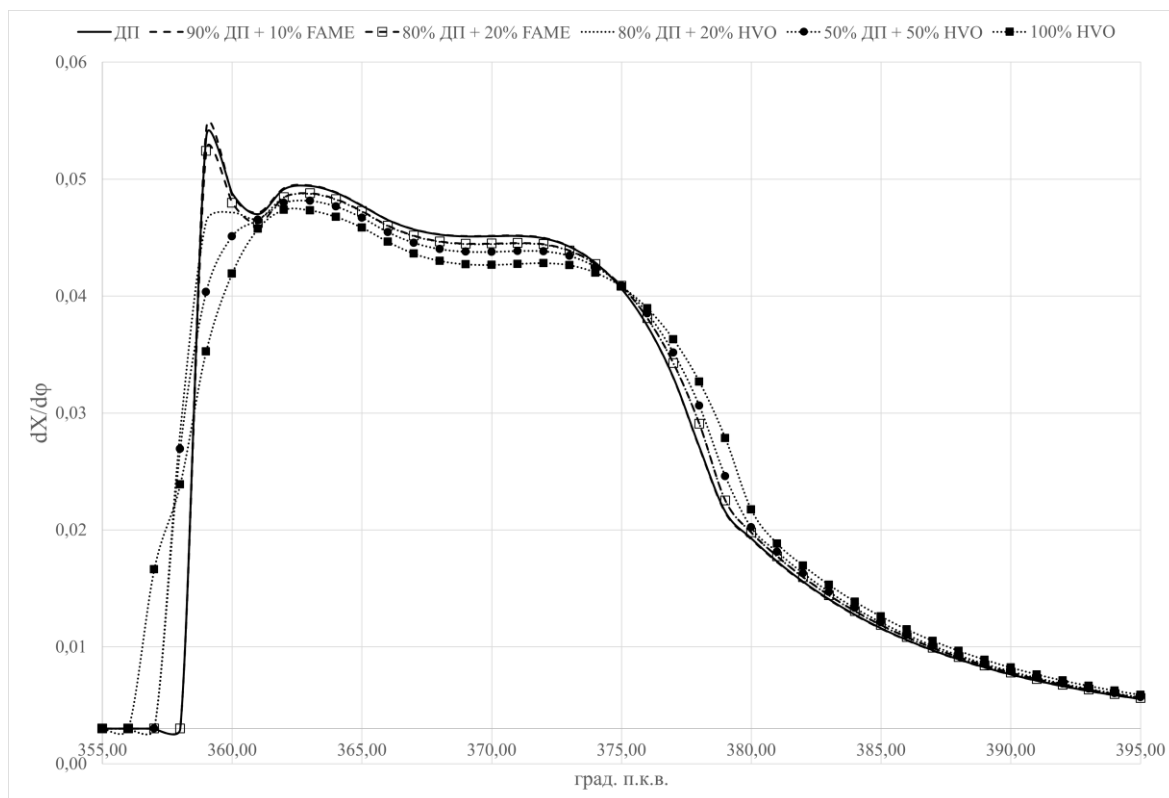


Рис. 1. Характеристика диференційного тепловиділення дизеля 4ЧН10,7/12,4

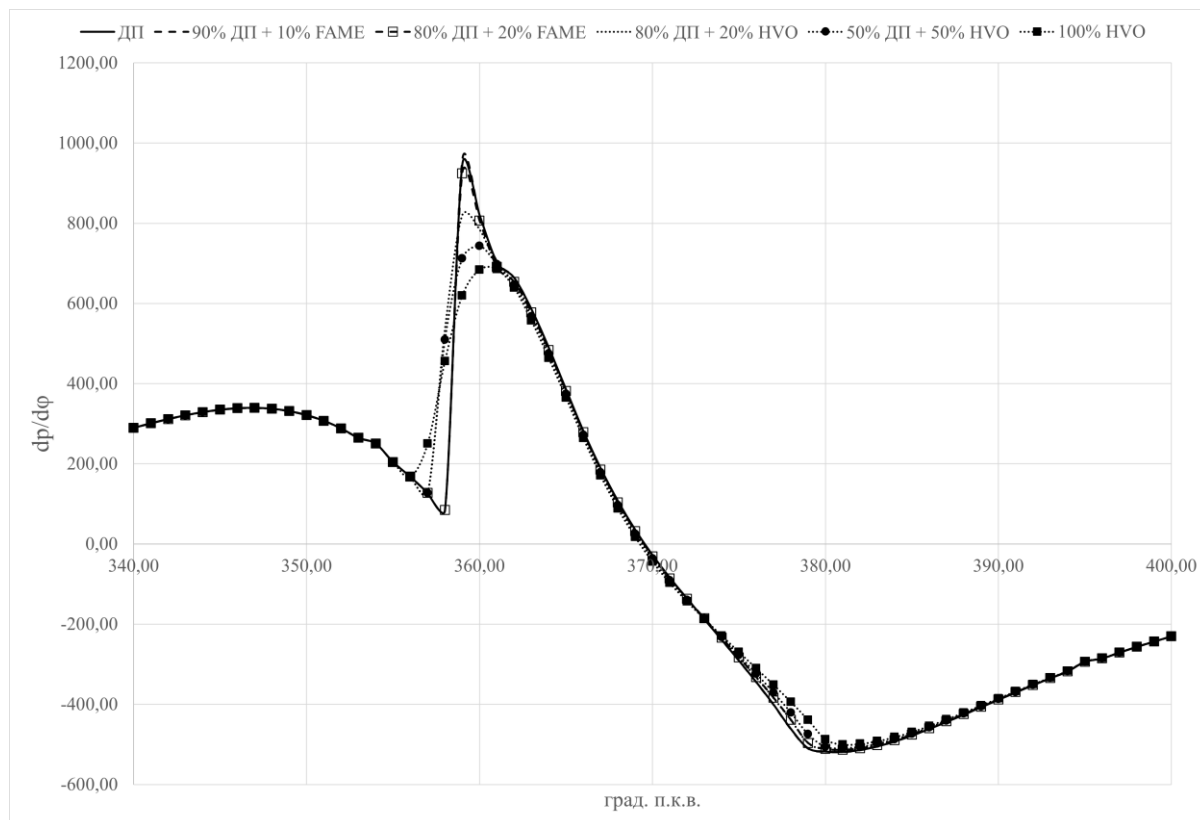


Рис. 2. Швидкість збільшення тиску в циліндрі дизеля 4ЧН10,7/12,4

Таблиця 4. Характеристики дизеля 4ЧН10,7/12,4 при роботі на паливних сумішах різного складу

Характеристика	100% ДП	90% ДП + 10% FAME	80% ДП + 20% FAME	80% ДП + 20% HVO	50% ДП + 50% HVO	100% HVO
Середній ефективний тиск, МПа	1,462	1,462	1,462	1,462	1,462	1,462
Ефективний ККД, %	38,616	38,619	38,596	38,594	38,569	38,559
Питома ефективна витрата палива, г/(кВт г)	217,81	220,12	222,61	217,03	215,81	213,64
Індикаторний ККД, %	47,858	47,859	47,816	47,834	47,779	47,742
Питома індикаторна витрата палива, г/(кВт г)	175,75	177,62	179,69	175,10	174,21	172,55
Максимальний тиск в циліндрі, кПа	16,220	16,225	16,120	16,133	16,043	15,895
Максимальна швидкість збільшення тиску в циліндрі, МПа/град. п.к.в.	1,002	1,011	0,982	0,854	0,750	0,691
Період затримки спалахування, град. п.к.в.	3,14	3,12	3,11	2,80	2,42	1,97
Питомі викиди CO ₂ з відпрацьованими газами, г/(кВт г)	697,22	696,18	695,77	690,96	681,52	665,46

З таблиці видно, що використання сумішей ДП та FAME/HVO в якості палива може обумовлювати незначне зниження індикаторного та ефективного ККД дизеля в порівнянні з використанням традиційного дизельного палива нафтового походження. Одним з головних чинників, що обумовлюють це зниження є зменшення питомої теплоти згоряння на одиницю об'єму, оскільки це сприяє збільшенню тривалості процесу впорскування, що в свою чергу обумовлює зменшення швидкості тепловиділення протягом періоду дифузійного згоряння (рис. 2). Зменшення швидкості процесу згоряння також обумовлює помітне зменшення максимального тиску циклу в разі використання палив рослинного походження. Так, наприклад при використанні чистого HVO P_z зменшується приблизно на 2 % порівняно з дизельним паливом нафтового походження.

При використанні суміші 20 % HVO та 80 % ДП питома ефективна витрата палива збільшується на 2,2 % порівняно з ДП. При використанні чистого HVO питома ефективна витрата палива зменшується на 1,9 % порівняно з чистим ДП. Для обох розглянутих видів рослинних палив вказані зміни обумовлені, насамперед, відмінністю масової питомої нижньої теплоти згоряння палива.

Рівень питомих викидів CO₂ при використанні розглянутих в цій роботі палив рослинного походження помітно скорочується, що досягається, насамперед, завдяки меншому значенню співвідношення C/H в рослинних компонентах паливної суміші (табл. 1). Так, наприклад, при експлуатації дизеля на чистому HVO, питомі викиди CO₂ скорочуються приблизно на 6 % порівняно з традиційним ДП нафтового походження. При експлуатації

дизеля на суміші 20 % HVO та 80 % ДП питомі викиди CO₂ скорочуються лише на 0,2 %

Висновки

Одними з найбільш поширених на сьогодні та перспективних видів альтернативного палива рослинного походження для дизелів є метилові ефіри жирних кислот (FAME) та гідроочищена рослинна олія (HVO). FAME суттєво відрізняється за властивостями від нафтового ДП і тому на сьогодні використовується, здебільшого, в якості компоненту паливних сумішей із вмістом FAME за масою близько 7...10 %. Використання сумішей із більшим вмістом FAME, як правило, потребує модифікації паливної апаратури і тому зустрічається набагато рідше. Натомість, HVO за більшістю властивостей достатньо наближено до традиційного ДП нафтового походження і тому може бути використано як в складі сумішей так і в чистому вигляді в переважній більшості дизелів без жодних модифікацій системи живлення.

Результати математичного моделювання дизеля 4ЧН10,7/12,4 при використанні в якості палива, сумішей ДП з рослинними паливами, та чистого HVO свідчать про можливість досягнення зменшення жорсткості робочого процесу до 30 %. При використанні рослинних палив може спостерігатися незначне зменшення індикаторного (на величину до 0,11 %), ефективного (на величину до 0,06 %) ККД дизеля, а також скорочення максимального тиску циклу (P_z) до 2 %.

Експлуатація дизеля при використанні палив рослинного походження може дати змогу забезпечити скорочення питомих викидів CO₂ з відпрацьованими газами від 0,2 % (суміш 20 % FAME) до

6 % (чистий HVO) порівняно з ДП нафтового походження.

Варто відзначити, що вказане вище скорочення питомих викидів CO₂ характеризує лише експлуатацію дизеля. Може бути досягнуто набагато більше скорочення питомих викидів CO₂ при врахуванні повного циклу отримання сировини, та технології виготовлення палива.

Подяка. Загальний підхід розроблено в рамках науково-дослідного проекту «Наукове обґрунтування підходів до створення гібридних силових установок об'єктів інженерно-будівельної техніки» (№ 0125U000240).

Список літератури:

1. von Schuckmann K., Palmer M., Trenberth K. et al. An imperative to monitor Earth's energy imbalance // *Nature Climate Change*. – 2016. – Vol. 6, № 2. – P. 138–144. – DOI: 10.1038/nclimate2876. 2. Schmithüsen H., Notholt J., König-Langlo G. et al. How increasing CO₂ leads to an increased negative greenhouse effect in Antarctica // *Geophysical Research Letters*. – 2015. – Vol. 42, № 23. – DOI: 10.1002/2015GL066749. 3. Kulp T. R., Hoeft S. E., Asao M. et al. Arsenic (III) fuels anoxygenic photosynthesis in hot spring biofilms from Mono Lake, California // *Science*. – 2008. – Vol. 321, № 5891. – P. 967–970. – DOI: 10.1126/science.1160799. 4. Fryer M. J., Andrews J. R., Oxborough K. et al. Relationship between CO₂ assimilation, photosynthetic electron transport, and active O₂ metabolism in leaves of maize in the field during periods of low temperature // *Plant Physiology*. – 1998. – Vol. 116, № 2. – P. 571–580. – DOI: 10.1104/pp.116.2.571. 5. United Kingdom. Department for Transport. Carbon and Sustainability Reporting within the Renewable Transport Fuel Obligation [Електронний ресурс]. – Archived June 25, 2008. – Режим доступу: [Wayback Machine: https://web.archive.org/web/20080625124917/http://www.dft.gov.uk/rfa/_db/_documents/Carbon_and_Sustainability_Guidance_2008.pdf](https://web.archive.org/web/20080625124917/http://www.dft.gov.uk/rfa/_db/_documents/Carbon_and_Sustainability_Guidance_2008.pdf). 6. Драгнев С. В., Желєзна Т. А. Аналіз сировинної та технологічної бази для виробництва дизельного біопалива в Україні // *Теплофізика та теплоенергетика*. – 2024. – Т. 46, № 3. – С. 103–112. 7. Hunicz J., Krzaczek P., Gęca M. et al. Comparative study of combustions and emission of diesel engine fuelled with FAME and HVO // *Combustion Engines*. – 2021. – Vol. 184, № 1. – P. 72–78. – DOI: 10.19206/CE-135066. 8. CEN. EN 590:2023

Automotive fuels – Diesel – Requirements and test methods. – Brussels: European Committee for Standardization, 2023. – 28 p. 9. CEN. EN 15940:2023 *Automotive fuels – Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment – Requirements and test methods*. – Brussels: European Committee for Standardization, 2023. – 26 p. 10. Zhou X., Li L., Xue J. et al. Theoretical Study on the Kinetics of Secondary Oxygen Addition Reactions for N-Butyl Radicals // *The Journal of Physical Chemistry A*. – 2025. – Vol. 129, No. 5 (Combustion and Plasma Chemistry). – P. 1441–1451. – DOI: 10.1021/acs.jpca.4c07506

Bibliography (transliterated):

1. von Schuckmann, K., Palmer, M., Trenberth, K. et al. (2016), "An imperative to monitor Earth's energy imbalance", *Nature Climate Change*, Vol. 6, No. 2, pp. 138–144, DOI: 10.1038/nclimate2876. 2. Schmithüsen, H., Notholt, J., König-Langlo, G. et al. (2015), "How increasing CO₂ leads to an increased negative greenhouse effect in Antarctica", *Geophysical Research Letters*, Vol. 42, No. 23, DOI: 10.1002/2015GL066749. 3. Kulp, T.R., Hoeft, S.E., Asao, M. et al. (2008), "Arsenic (III) fuels anoxygenic photosynthesis in hot spring biofilms from Mono Lake, California", *Science*, Vol. 321, No. 5891, pp. 967–970, DOI: 10.1126/science.1160799. 4. Fryer, M.J., Andrews, J.R., Oxborough, K. et al. (1998), "Relationship between CO₂ assimilation, photosynthetic electron transport, and active O₂ metabolism in leaves of maize in the field during periods of low temperature", *Plant Physiology*, Vol. 116, No. 2, pp. 571–580, DOI: 10.1104/pp.116.2.571. 5. United Kingdom. Department for Transport (2008), "Carbon and Sustainability Reporting within the Renewable Transport Fuel Obligation", [Electronic resource], archived June 25, available at: https://web.archive.org/web/20080625124917/http://www.dft.gov.uk/rfa/_db/_documents/Carbon_and_Sustainability_Guidance_2008.pdf. 6. Dragnev, S.V. and Zhelezna, T.A. (2024), "Analysis of feedstock and technological base for diesel biofuel production in Ukraine" ["Аналіз сировинної та технологічної бази для виробництва дизельного біопалива в Україні"], *Teplofizyka ta teploenerhetyka*, Vol. 46, No. 3, pp. 103–112. 7. Hunicz, J., Krzaczek, P., Gęca, M. et al. (2021), "Comparative study of combustions and emission of diesel engine fuelled with FAME and HVO", *Combustion Engines*, Vol. 184, No. 1, pp. 72–78, DOI: 10.19206/CE-135066. 8. CEN (2023), EN 590:2023 *Automotive fuels – Diesel – Requirements and test methods*, European Committee for Standardization, Brussels, 28 p. 9. CEN (2023), EN 15940:2023 *Automotive fuels – Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment – Requirements and test methods*, European Committee for Standardization, Brussels, 26 p. 10. Zhou, X., Li, L., Xue, J. et al. (2025), "Theoretical Study on the Kinetics of Secondary Oxygen Addition Reactions for N-Butyl Radicals", *The Journal of Physical Chemistry A*, Vol. 129, No. 5 (Combustion and Plasma Chemistry), pp. 1441–1451, DOI: 10.1021/acs.jpca.4c07506.

Надійшла до редакції 09.07.2025 р.

Савченко Анатолій Вікторович – канд. техн. наук, старший викладач кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: Savchenko.sci@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-0233-6072>.

Таланін Дмитро Сергійович – PhD, викладач кафедри «Автомобілі» Харківського автотранспортного фахового коледжу, м. Харків, Україна, e-mail: dima.kharkiv75@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2044-638X>

REDUCING THE CARBON FOOTPRINT OF DIESEL ENGINES THROUGH THE USE OF PLANT-BASED FUELS

A.V. Savchenko, D.S. Talanin

The article considers the impact of the use of alternative fuels of plant origin on energy efficiency, environmental performance and combustion processes in a motor-tractor diesel engine. The relevance of the topic is due to the need to reduce the carbon footprint of diesel engines in the context of tightening requirements for greenhouse gas emissions, increasing energy independence and ensuring fuel autonomy of critical sectors of the economy. The main attention is paid to the evaluation of diesel

engine performance when running on fuel mixtures containing fatty acid methyl esters (FAME) and hydrogenated vegetable oil (HVO) in comparison with traditional petroleum diesel fuel. A review of the physicochemical properties of these fuels, in particular: density, specific lower heating value, cetane number, viscosity, flash point, oxygen content, and carbon-to-hydrogen mass ratio, was carried out. Design and technological limitations on their use in modern diesel engines are discussed. The efficiency of internal oxygen in FAME in the combustion process is evaluated based on the analysis of the chemical structure, thermal stability of ester groups, and kinetic conditions in the combustion chamber. The mathematical modeling of the 4CHN10.7/12.4 diesel engine's operating process was carried out in the Blitz-PRO software package using the real properties of the mixtures and the calculated parameters of the fuel equipment. Changes in the indicator and effective efficiency, specific fuel consumption, maximum cycle pressure, cylinder pressure rise rate, ignition delay period, and specific CO₂ emissions were analyzed. It was found that with an increase in the proportion of HVO in the mixture, a significant decrease in the rigidity of the working process (up to 30%) was observed due to the high cetane number. At the same time, a slight decrease in efficiency is mainly due to a decrease in the volumetric heat of combustion and a shift in the heat release law to the later phases of the cycle. CO₂ emissions were analyzed for different blends: a reduction of up to 6% is possible when using pure HVO. The full life cycle from raw material cultivation to fuel production has the potential to reduce emissions by 15-55% compared to petroleum-based diesel, according to the UK government. The results confirm the feasibility of using fuels from renewable sources in diesel engines as a tool for reducing the carbon footprint without significant losses in energy efficiency.

Keywords: alternative fuels; diesel engine; greenhouse gases; HVO; FAME; calorific value; injection duration; carbon footprint; thermal efficiency.