

**Колодницька Р.В.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

## МОДЕЛЮВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

У всьому світі за 2020 рік було випущено біля 80 млн транспортних засобів. Зменшення витрати палива від автомобільного транспорту – одна із ключових проблем сьогодення. Для зменшення витрати палива потрібно знизити витрати, що пов'язані з рухом автомобіля по дорозі і через повітря. Для цього потрібно зменшити вагу автомобіля, знизити аеродинамічний опір, підвищити опір коченню і зменшити тертя. Але 90% економії витрати палива залежать від силового агрегату автомобіля. Альтернативне дизельне паливо має інші фізичні властивості, властивості розпилювання, випаровування і згоряння, ніж дизельне паливо. Застосування моделей витрати дизельних палив до альтернативних палив не завжди дає вірний результат. Метою статті є аналіз моделей витрати палива в застосуванні до альтернативних дизельних палив, включаючи дизельне біопаливо. В роботі проаналізовано моделі витрати палива як для питомої витрати, так і годинної витрати палива в застосуванні до альтернативних дизельних палив: біодизеля (дизельне біопаливо), відновлювального дизельного палива (HVO), та синтетичного палива (GTL). Як правило, менша витрата палива автомобіля пов'язана з більш високим вмістом енергії в його паливі, тобто з теплотою згоряння. Паливо, що має більше цетанове число, зазвичай приводить до меншої витрати палива. Густина впливає на впорскування в ДВЗ, зі збільшенням густини палива збільшуються розміри крапель і погіршується розпилювання палива, що, як правило, приводить до збільшення витрати палива. Як моделювання, так і експериментальні дані показали, що біодизельне паливо має більшу витрату палива, а GTL та HVO – меншу витрату, ніж дизельне паливо. Показано вплив властивостей палива, а саме густини, цетанового числа і теплоти згоряння на витрату палива. Хоча моделювання відносної витрати альтернативного дизельного палива за розглянутими моделями показує гарне співпадіння з експериментальними даними, потрібно більше експериментальних даних, для того щоб врахувати точніше вклад густини палива у його витрату. Залежність витрати альтернативних дизельних палив від в'язкості палива може бути темою наступних досліджень.

**Ключові слова:** автомобільний транспорт, витрата палива, альтернативне паливо, дизельне біопаливо, біодизель, HVO.

**Постановка проблеми.** У всьому світі за 2020 рік було випущено біля 80 млн транспортних засобів (ТЗ), з яких 25 млн випущено в Китаї, 11 млн. – в Європі, 8 млн. – в Північній Америці, 8 млн. – в Японії і залишок – в Південній Кореї, Мексиці і Індії [1, с. 9]. Зменшення витрати палива автомобільним транспортом (АТ) – одна із ключових проблем сьогодення. Для зменшення витрати палива потрібно знизити витрати, що пов'язані з рухом ТЗ по дорозі і через повітря. Для цього необхідно: зменшити вагу автомобіля; знизити аеродинамічний опір (aerodynamic drag); підвищити опір коченню і зменшити тертя (rolling resistance and friction improvement) [1, с. 4]. При використанні альтернативних палив у автомобілях, що мроживають дизельне паливо, моделювання витрати палива – не дуже проста задача. Адже альтернативне дизельне паливо має інші фізичні властивості, властивості розпилювання і випаровування і згоряння, ніж дизельне паливо.

Використання моделей витрати дизельного палива (ДП) до альтернативних палив не завжди дає вірний результат.

**Метою статті** є аналіз моделей витрати палива в застосуванні до альтернативних дизельних палив, включаючи дизельне біопаливо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [1, с. 7] відмічається, що тільки 10% від всього зниження витрати палива можна досягти удосконаленням технологій ТЗ (vehicle technology), отже, 90% досягається за рахунок покращення силової установки (propulsion system). Детальний огляд моделей витрати палива зроблений в [2, с. 202–203]. В цій же роботі були проаналізовані витрати палива, що підраховані у програмі СМЕМ за вісьма різними циклами для різних категорій автомобілів [2, с. 203–205].

Витрата палива для ТЗ, що використовують альтернативне паливо досліджена все ще недостатньо. Як правило, витрату палива вимірюють

експериментально. В [3, с. 255] досліджують витрату палива для двох біодизельних палив різного складу. Було знайдено, що для біодизеля складу А витрата палива (кг/год) була на 7% більша, а для біодизеля В – на 10% більша, ніж для ДП. Як вважають автори [3, с. 255] це значить, що біодизель В має меншу теплоту згоряння (energy content), ніж біодизель А і обоє ці палива містять менше енергії, ніж ДП.

Не зрозуміло також вплив різних характеристик палива на його витрату. В роботі [4, с. 4] було проаналізовано експериментальні дані для широкого діапазону альтернативних палив і приведені залежності відносної зміни витрати альтернативних палив у порівнянні з ДП.

Витрата біодизельного палива була проаналізована в монографії [5, с. 138], використовуючи відомі моделі Говорущенка. Моделювання витрати палива (л/100 км) гарно співпадало з експериментальними даними для біодизельного палива [5, с. 136] і були більшими на 11.5% в порівнянні з ДП. На жаль, використання моделі Говорущенка пов'язано потребує характеристики двигуна і автомобіля, які часто недоступні для нових марок. Отже, потрібно проаналізувати більш детально фактори, які впливають на витрату палива альтернативних ДП, використовуючи сучасні моделі з врахуванням нової процедури по витраті палива для нових марок автомобілів, що описана в [6, с. 2]. Окрему увагу потрібно приділити новим видам альтернативного дизельного палива, наприклад, відновлювальному дизельному паливу (HVO), властивості якого описані в роботах [7, 8].

### Основна частина.

#### 1. Зменшення витрати палива для автомобільного транспорту

*Зменшення ваги* – це ключ до зменшення затрат енергії згідно закону Ньютона  $F = m \times a$ . Чим більше маса, тим більше потрібно затратити сили, а отже й енергії, щоб надати прискорення ТЗ. Маса відіграє ключову роль під час тертя шин ТЗ по дорозі, при чому тертя пропорційне опорю коченню ТЗ [1, с. 4].

*Зниження аеродинамічного опорю:*

$$F = C_d \times A,$$

де  $F$  – сила (Force);  $C_d$  – коефіцієнт опорю (Drag Coefficient);  $A$  – лобова площа ТЗ (frontal Area of vehicle) [1, с. 4].

Для того щоб зменшити коефіцієнт опорю  $C_d$ , автомобіль має бути спростованим таким чином, щоб потік повітря був ламінарними. Також багато структурних елементів автомобілю допомагають зменшенню аеродинамічного опорю пові-

тря. Наприклад, моделі Ford Focus 2010 мають активні радіаторні заслінки (shutters), які закривають потік повітря, коли автомобіль вже не потребує охолодження [1, с. 6].

*Підвищення опорю коченню і зменшення тертя.* Ці втрати можуть бути зменшені шляхом зменшення тертя і також паразитичних втрат, коли автомобіль не рухається (їх називають «hotel load») [1, с. 6]. Бажано використовувати шини з низьким опором коченню, також важливо запобігти втрат енергії через роботу вихлопної і гальмівної системи.

Як показано в роботі [2, с. 203], цикли водіння також мають значний вплив на витрату палива. Існують різні типи циклів, такі як Новий європейський цикл водіння (NEDC, New European Driving Cycle) або Всесвітня гармонізована процедура випробувань легких транспортних засобів (WLTP, Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure) [4, с. 3]. В [4, с. 4] були вибрані цикли водіння NEDC, що включали 4 цикли міського водіння та один додатковий цикл. Результатом циклів водіння є лише одне значення витрати палива на кожне випробуване паливо, що є корисним з точки зору моделювання [4, с. 4].

WLTP замінила процедуру випробувань NEDC для встановлення офіційного споживання палива та викидів  $\text{CO}_2$  нових автомобілів у вересні 2017 року, яка стала обов'язковою для всіх нових автомобілів (що працюють від ДВЗ) до вересня 2018 року [6, с. 2]. Хоча і всі випробування і далі будуть проводитися в лабораторіях, але одним з очевидних відмінностей є структура даних, отриманих в результаті нового тесту. Для бензинових або дизельних автомобілів, терміни, що використовуються для опису фаз водіння тестового циклу: «міський», «позаміський» і «комбінований», більше не використовуються. Замість цього тест водіння представлений як «низький», «середній», «високий», «надвисокий» і «комбінований» [6, с. 2]. На жаль, база даних WLTP [6] для нових автомобілів, що складається з 4719 записів містить дані про автомобілі, що споживають бензин, ДП, бензин + LPG (liquid petroleum gas, скраплений газ) та дані для електромобілів і гібридних автомобілів. Отже, моделювання витрати палива для ТЗ, що використовують альтернативне паливо – одна із важливих задач.

#### 2. Моделі витрати палива для альтернативних дизельних палив.

В [4, с. 7] приведено модель для визначення відносної зміни витрати альтернативного палива відносно дизельного палива для АТ:

$$\alpha_{FC} = -1.113E - 0.076F - 1.075C, \quad (1)$$

де  $\alpha_{FC}$  – витрата палива (відносна зміна);  $E$  – NCVmass (відносна зміна);  $F$  – цетанове число CN (відносна зміна);  $C$  – густина (відносна зміна).

Відносні зміни властивостей  $C(X_R)$  [4, с. 4] розраховуються як:

$$C(X_R) = (C_R(X_R) - C_S) / C_S \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $C(X_R)$  – значення питомої властивості палива для суміші альтернативного палива залежно від концентрації альтернативного палива  $X_R$ ; – значення питомої властивості палива для стандартного палива (дизельного палива).

Як правило, менша витрата палива ТЗ пов'язана з більш високим вмістом енергії в цьому паливі, тобто з теплою згоряння. Але не тільки вміст енергії в паливі впливає на продуктивність двигуна, але й інші властивості палива, такі як густина або цетанове число, відіграють значну роль. Паливо, що має більше цетанове число, зазвичай пов'язане з меншою витратою палива [4, с. 7]. Густина впливає на впорскування в ДВЗ; зі збільшенням густини палива збільшуються розміри крапель і погіршується розпилювання палива, що, як правило, приводить до збільшення витрати палива. Виходячи з цих міркувань не зрозумілий знак “-”, з яким густина входить в формулу (1), що запропонована в [4, с. 7].

Автори [3, с. 260] також вважають, що споживання автомобілем біодизеля буде вищим, коли двигун заправляється біодизелем більшої густини. Порівняння витрати палива для двох видів біодизельного палива показано на рис. 1. Два різних види біодизеля, тип А [80% (яловичина, свинина і жир вівці) і 20% олії канолі метилового ефіру] і тип В [70% курячого валу і 30% відходів кулінарної олії метилового ефіру], були використані для експериментів в цьому дослідженні.

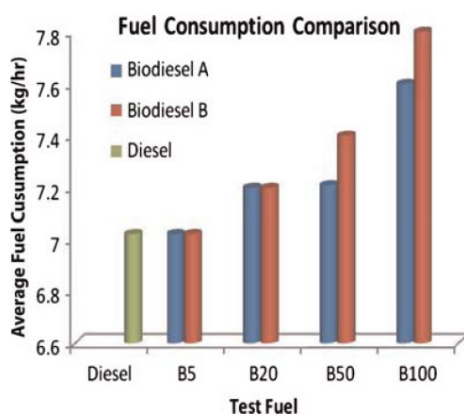


Рис. 1. Середня витрата палива (кг/год) для біодизеля типу А і типу В в порівнянні з дизельним паливом та різними сумішами цих палив [3, с. 258]

Виходячи з експериментів, що показані на рис. 1, середня зміна масової витрати (кг/год) біодизельного палива становить для біодизеля типу А 8.51%, а для біодизеля типу В – 11.35% в порівнянні з ДП. Очевидно, що біодизельні палива мають нижчий вміст енергії, ніж викопне дизельне паливо або відновлювальне дизельне паливо (HVO, hydrotreated vegetable oil), чи синтетичне паливо (GTL, gas-to-liquid). Цей факт пов'язаний зі складом палива – чим вищий вміст кисню, тим нижча температура згоряння палива. Найвищий вміст кисню містить біодизель, тоді як в хімічному складі HVO немає кисню. Крім того, паливо з високою в'язкістю, таке як біодизель, має більш високу витрату палива, ніж менш в'язкі альтернативи, такі як GTL. На рис. 2 [4, с. 6] зображено вплив зміни різних властивостей альтернативних ДП: в'язкості (Viscosity), цетанового числа (CN), густини (Density), об'ємної теплоти згоряння (NCVvol)/ масової теплоти згоряння (NCVmass), кількості кисню (Oxygen) на відносну зміну витрати палива (Fuel consumption).

Представимо формулу (1) в наступному вигляді:

$$\alpha_{FC} = -1.075\Delta\rho - 0.076\Delta CN - 1.113\Delta H, \quad (3)$$

де  $\Delta\rho$  – відносна зміна густини;  $\Delta CN$  – відносна зміна цетанового числа;  $\Delta H$  – відносна зміна нижчої теплоти згоряння альтернативного палива відносно ДП.

### 3. Моделювання годинної витрати палива

Моделі, що представлені Рів. (1) та Рів. (3), приведені для питомої витрати палива (BSFC, Brake Specific Fuel Consumption). BSFC – це відношення масової витрати палива до ефективної потужності. Практичне значення також мають моделі годинної витрати палива, одна із таких моделей представлена в роботі [9, с. 2]. Годинну витрату палива можна знайти, (л/год):

$$G_f = \frac{q_e N_e}{1000 \Delta \rho_f}, \quad (4)$$

де  $q_e$  – ефективна питома витрата палива, г/(кВт год);  $N_e$  – ефективна потужність двигуна, кВт.

Ефективна питома витрата палива:

$$q_e = \frac{3600 \cdot 10^3}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot H_n}, \quad (5)$$

де  $H_n$  – теплота згоряння палива, кДж/кг;  $\eta_e = \eta_i \eta_m$  – ефективний ккд.

$$\eta_i = \frac{P_i L_0 R T}{H_n \eta_v P} \alpha, \quad (6)$$

де  $P_i$  – середній індикаторний тиск, кПа;  $L_0$  – стехіометрична кількість паливно-повітряної суміші, кмоль/кг;  $R$  – універсальна газова постійна,

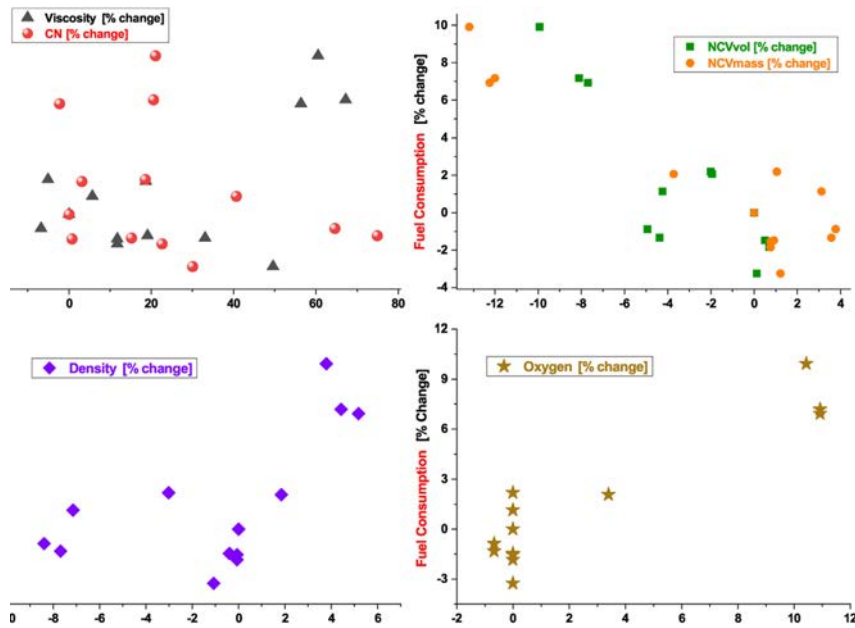


Рис. 2. Залежність витрати палива від властивостей альтернативних ДП [4, с. 6]

Дж / (моль К);  $T$  – температура повітря, К;  $\eta_v$  – коефіцієнт заповнення циліндрів двигуна;  $P$  – тиск повітря, кПа;  $\alpha$  – коефіцієнт надміру повітря.

Середній ефективний тиск, згідно [9, с. 2]:

$$P_e = \frac{N_e \cdot 30 \cdot \tau \cdot 10^3}{V_h \cdot n}, \quad (7)$$

де  $\tau$  – цикл двигуна;  $V_h$  – робочий об'єм двигуна (всі циліндри), л;  $n$  – частота обертання двигуна, об/хв.

Годинна витрата палива, коли  $N_e = 0$  [9, с. 5], (л/год):

$$G_f = \frac{0.12 \cdot P \cdot V_h \cdot n \cdot B_{\eta}}{L_0 \cdot R \cdot T \cdot \tau \cdot C_{\alpha} \rho_f}, \quad (8)$$

де  $B_{\eta}$  та  $C_{\alpha}$  – коефіцієнти, що залежать від типу двигуна.

З врахуванням густини дизельного палива, ( $\rho_f = 0.84 \text{ г/см}^3$ ) та ( $L_0 = 0.495 \text{ кмоль / кг}$ ,  $B_{\eta} = 1, C_{\alpha} = 5$ ), будемо мати [9, с. 5]:

$$G_f = 0.00174 \cdot V_h \cdot P / T \cdot n. \quad (9)$$

Для автомобіля Skoda Octavia 1.9 TDI ( $V_h = 1,9$  л і  $n = 600$  об / хв) на основі формули (9) одержуємо годинну витрату для дизельного палива:

$$G_f = 0.00174 \cdot 1.9 \cdot 0.346 \cdot 600,$$

що дає значення 0.686 л/год (0.673 л/год в [9, с. 5]).

Для автомобіля Skoda Octavia з дизельним двигуном потужністю 66 кВт встановлена базова норма витрати дизельного палива 5,2 л / 100 км [9, с. 6]. Експериментальні дослідження [9, с. 6] показали, що витрата дизельного палива на холос-

тому ходу для Skoda Octavia 1,9 TDI – 0,6 ... 0,7 л / год, що узгоджуються з розрахунками.

Бази даних WLTP [10, с. 1] містять інформацію по витраті палива нових автомобілів, що вироблені у Великобританії. WLTP розділений на 4 частини, в якій ТЗ має різну максимальну швидкість: низька (Low), до 56,5 км/год; середня (Medium), до 76,6 км/год; висока (High), до 97,4 км/год; надвисока (Extra-high), до 131,3 км/год.

Таку ж потужність, 66 кВт, як в автомобіля Skoda Octavia, витрата палива, якого розрахована в роботі [9, с. 6], має автомобіль Рено. На рис. 1 показано WLTP Metric, чотирьох автомобілів Рено з потужністю 66 кВт та двох автомобілів потужністю 70 кВт (Renault\_70), що використовує дизельне паливо. Інформація одержана з бази даних WLTP [10, нові автомобілі, записи 3215-3220].

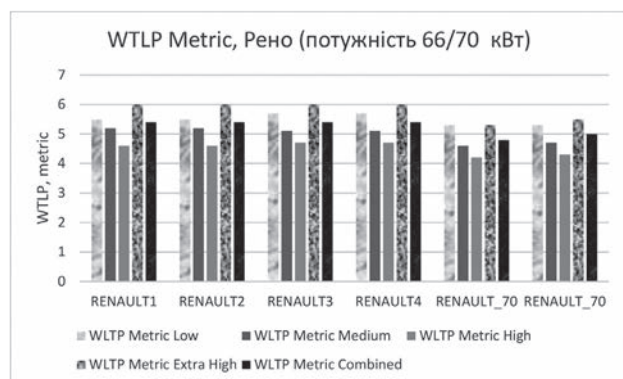


Рис. 3. WLTP Metric, автомобіль Рено, що використовує дизельне паливо (потужність 66/70 кВт)

Середня витрата палива для автомобіля Рено (metric medium) складає 5.1–5.2 л/100 км, в залежності від моделі. За комбінованим показником всі автомобілі потужністю 66 кВт мають однакову витрату палива 5.4 л/100 км.

**4. Розрахунки відносної витрати палива (BSFC) для біодизеля та HVO**

Розрахуємо відносну зміну у властивостях біодизеля та відновлювального палива (HVO), користуючись (2) та відносну зміну витрати палива за (1), використовуючи дані табл. 1 та табл. 2.

За даними таблиці 2 та користуючись формулою (1) одержали зміну у витраті палива HVO відносно ДП, що дорівнює 1.68%. Потрібно звернути увагу на той факт, що дизельне паливо містить 7% біодизельного палива. Як видно з таблиці 3, використовуючи Рів. (1), у випадку використання HVO і суміші EN 590-30, що містить 30% HVO, одержано дуже близьке значення витрати палива двох палив до ДП.

В таблиці 4 показані відносні зміни властивостей різних альтернативних палив разом з відносними значеннями витрати палива, порашованими за (1) і також експериментальними даними, що взяті з роботи [4, с. 8].

**5. Розрахунки годинної витрати палива для біодизельного палива.**

Для знаходження годинної витрати палива потрібно знати стехіометричну кількість повітря для палива, яку можна визначити за формулою (кмоль/кг) [11, с. 30]:

$$L_0 = \frac{C / 12 + H / 4 - O / 32}{0.21}, \quad (10)$$

де  $C$ ,  $H$  і  $O$  – масові частки в паливі відповідно вуглецю, водню і кисню.

Формула дає значення 0.44 кмоль/кг для біодизельного палива [11, с. 35].

Для біодизеля, взявши до уваги густину цього палива 0.88 г/см<sup>3</sup> і  $L_0 = 0.44$  кмоль/кг, одержуємо:

$$G_f = 0.00187 \cdot V_h \cdot P / T \cdot n. \quad (11)$$

Таблиця 1

**Залежність витрати палив від властивостей палива**

Властивість	Розмірність	ДП*	Біодизель	$C(X_R)$ , %
Густина, 20°C	кг/м <sup>3</sup>	826	877	6.17
Цетанове число	–	45	51	13.33
Теплота згоряння	МДж/кг	42.5	37.5	-11.8
Зміна витрати палива (1)	%		5.44	

\* Характеристики дизельного (ДП) і біодизельного палив взяті з роботи [11, с. 63].

Таблиця 2

**Залежність витрати палив HVO від властивостей палива**

Властивість	Розмірність	ДП	HVO	$C(X_R)$ , %
Вміст біодизеля в паливі	% об'єм/об'єм	7.0		
Густина, 60°C	кг/м <sup>3</sup>	832.4	778.7	-6.45
Цетанове число	–	56.5	76.3	35.04
Теплота згоряння	МДж/кг	43	44	2.32
Зміна витрати палива (1)	%		1.68	

Таблиця 3

**Залежність витрати палив HVO від властивостей палива**

Властивість	Розмірність	EN 590	HVO	EN 590-30
Густина (15°C)	кг/м <sup>3</sup>	843.0	779.7	824.0
Цетанове число		54.6	70	65
Теплота згоряння,	МДж/кг	45.99	47.27	46.35
Зміна витрати палива (1)	%		-0.092	0.104

Таблиця 4

**Відносна зміна характеристик палив та витрати палива**

Паливо	$\Delta CN$ , %	$\Delta \rho$ , %	В'язкість, % зміни	$\Delta H$ , %	$\alpha_{FC}$ %, експер. %	$\alpha_{FC}$ (1), (3), %
B100	20.53	4.43	67.28	-12.01	7.18	7.04
B100	21.03	3.79	60.56	-13.2	9.92	9.01
GTL100	64.58	-8.4	-6.77	3.77	-0.88	-0.07

Розрахунок за формулою (11) дає значення витрати палива для біодизеля 0.738 л/год, що у порівнянні 0.686 л/год для ДП, дає відносне збільшення витрати біодизельного палива 7.47%, в порівнянні з формулою (1) – 6.96%. В таблиці 5 показані властивості біодизельного палива та ДП згідно [5, с. 139], а також параметри, які потрібні для розрахунку витрати палива.

В таблиці 6 показано порівняння властивостей альтернативних палив RME та GTL з дизельним паливом ULSD. Властивості палива взяті з роботи [12, с. 624]. GTL має більшу теплоту згоряння, ніж дизельне паливо ULSD та біодизельне паливо RME, а також набагато більше цетанове число.

Для палива GTL взявши до уваги густину цього палива  $0.7864 \text{ г/см}^3$  та  $L_0 = 0.516 \text{ кмоль/кг}$ , одержуємо відносну зміну палива відносно базового ДП (ДП2), що пораховане за формулою (8) – 0.025%. Відносно базового палива ULSD одержуємо відносну зміну витрати GTL 2.730%, це пов'язано з меншою густиною дизельного палива ULSD у порівнянні з дизельним паливом ДП2.

Отже, розрахунки також показали, що ефективна питома витрата палива ( $\text{кг}/(\text{кВт}\times\text{год})$ ) буде більшою для біодизельного палива, ніж для ДП, а для синтетичного палива GTL і HVO меншою, ніж для ДП, або ж майже незмінною. Важливо також зрозуміти залежність витрати палива не тільки від густини, але й від в'язкості палива.

Експериментальні дані [13, с. 63] показують, що залежність циклової витрати палива ( $\text{г/хід}$ ), ( $\text{г/км}$ ) від густини для трьох різних видів палив була близька до лінійної. В той же час, трьохкомпонентне альтернативне паливо, що мало таку ж саму в'язкість, як і дизельне паливо, мало більшу витрату палива, причому трьохкомпонентне паливо мало більшу густину. Залежність витрати альтернативних дизельних палив від в'язкості палива може бути темою наступних досліджень.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** В роботі проаналізовано моделі витрати палива для альтернативних дизельних палив: дизельного біопалива, відновлювального дизельного палива (HVO) та синтетичного палива (GTL). Як моделювання, так і експериментальні дані показали, що біодизельне паливо має більшу витрату палива, а GTL та HVO – меншу витрату, ніж дизельне паливо. Збільшення цетанового числа і теплоти згоряння приводить до зменшення витрати палива. Збільшення густини палива має тенденцію збільшувати витрату палива ТЗ, оскільки це збільшує розміри крапель під час розпилювання і тим самим погіршує розпилювання палива. Хоча моделювання відносної витрати альтернативного дизельного палива показує гарне співпадіння з експериментальними даними, але потрібно більше експериментальних даних, для того щоб врахувати точніше вклад густини палива у його витрату.

Таблиця 5

## Властивості палив і результати розрахунків

Властивість	Розмірність	ДП1	БД	ДП2	БД
Густина	$\text{кг/м}^3$	860.0	880.0	840	880
Теплота згоряння	$\text{МДж/кг}$	42.5	37.5	42.5	37.5
*Цетанове число	–	45	51	45	51
$N_e$	$\text{кВт}$	204	233		
$L_0$	$\text{кмоль/кг}$	0.495	0.44	0.495	0.44
Зміна витрати палива (1)	%		9.58		6.96
Витрата палива, Skoda (9)	$\text{л/год}$			0.686	0.738
Зміна у витраті палива (9)	%				7.58

\*[11, с. 63]

Таблиця 6

## Властивості палив і результати розрахунків

Властивості	Розмірність	ULSD [12]	RME [12]	GTL [12]
Густина, 15°C	$\text{кг/м}^3$	827.1	883.7	786.4
Кінематична в'язкість, 40°C	$\text{мм}^2/\text{с}$	2.467	4.478	3.497
Нижча теплота згоряння	$\text{МДж/кг}$	42.7	37.4	43.9
Цетанове число		53.9	54.7	80
Ароматичні вуглеводи	% ваги	24.4	~	0.3
O	% ваги	~	10.8	~
C	% ваги	86.5	77.2	85.0
H	% ваги	13.5	12.0	15.0
FC (1)	%		6.345	-1.518
$L_0$	$\text{кмоль/кг}$	0.504	0.433	0.516

Список літератури:

1. Folkson R. *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance (Second Edition). Towards Zero Carbon Transportation.* Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2022. P. 1 – 16.
2. Колодницька Р.В. Моделювання витрати палива для автомобільного транспорту з врахуванням транспортних технологій. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2022. Вип. 33 (72) № 2. С. 201–208.
3. McCarthy P., Rasul M.G. and Moazzem S. Comparison of the performance and emissions of different biodiesel blends against petroleum diesel. *International Journal of Low-Carbon Technologies.* 2011. № 6. P. 255–260.
4. Kroyan Y., Wojcieszek M., Kaario O., Larmi M., Zenger K. Modeling the end-use performance of alternative fuels in light-duty vehicles. *Energy.* 2020. № 205. P. 117854.
5. Колодницька Р.В. Процеси випаровування та згоряння дизельного біопалива у двигунах внутрішнього згоряння: монографія. Житомир: ЖДТУ, 2018. 192 с.
6. Fuel Consumption and CO<sub>2</sub>. London, 2021. URL: <https://www.vehicle-certification-agency.gov.uk/fuel-consumption-co2/> (дата звернення: 20.03.2023).
7. Dimitriadis A, Natsios I, Dimaratos A, Katsaounis D, Samaras Z, Bezergianni S and Lehto K. Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine. *Front. Mech. Eng.* 2018. № 4. P. 7.
8. Aatola, H., Larmi, M., Sarjovaara, T., and Mikkonen, S. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO<sub>x</sub>, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy-Duty Engine. *SAE Int. J. Engines.* 2009. № 1(1). P. 1251-1262.
9. Krivoshepov S. I. et al. Calculation methods for determining of fuel consumption per hour by transport vehicles. IOP Conf. Series. *Mater. Sci. Eng.* 2020. 39772004. doi:10.1088/1757-899X/977/1/012004.
10. Vehicle Certification Agency. Car fuel data, CO<sub>2</sub> and vehicle tax tools. London, 2021. URL: <https://carfueldata.vehicle-certification-agency.gov.uk/> (дата звернення: 20.03.2023).
11. Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Семенов В.Г. Біопалива на основі олій для дизельних двигунів: монографія. Житомир: ЖДТУ, 2011. 152 с.
12. Tira H.S., Herreros J.M., Tsolakis A., Wyszynski M.L. Characteristics of LPG-diesel dual fuelled engine operated with rapeseed methyl ester and gas-to-liquid diesel fuels. *Energy.* 2012. No. 47. P. 620 – 629.
13. Говорун А.Г., Павловський М.В., Куций П.В. [та ін.]. Оцінка паливної економічності та екологічних показників автомобіля в режимах Європейського їздового циклу, за роботи на штатному та сумішевих біодизельних паливах. *Вісник Національного транспортного університету.* 2012. № 25. С. 61 - 64.

**Kolodnytska R.V. FUEL CONSUMPTION MODELLING FOR ALTERNATIVE DIESEL FUELS OF AUTOMOBILE TRANSPORT**

*Worldwide, about 80 million vehicles were produced in 2020. Reducing fuel consumption from road transport is one of the key problems of today. To reduce fuel consumption, you need to reduce the costs associated with the movement of the car on the road and through the air. To do this, reduce the weight of the car, reduce aerodynamic drag, increase rolling resistance and reduce friction. But 90% of fuel savings depend on the propulsion system. Alternative diesel fuel has different physical properties, spray, evaporation and combustion than diesel fuel. The application of diesel fuel consumption models to alternative fuels does not always give the correct result. The article is aimed at analyzing fuel consumption models when applied to alternative diesel fuels, including biodiesel. The paper analyzes fuel consumption models for both specific consumption and hourly fuel consumption when applied to alternative diesel fuels: biodiesel (diesel biofuel), renewable diesel fuel (HVO), and synthetic fuel (GTL). As a rule, lower fuel consumption of a car is associated with a higher energy content in this fuel, that is, with the heat of combustion. Fuels having a higher cetane number usually result in lower fuel consumption. The density affects the injection into the internal combustion engine, with increasing fuel density, the droplet sizes increase and fuel atomization worsens, which, as a rule, leads to an increase in fuel consumption. Both simulations and experimental data have shown that biodiesel has higher fuel consumption and GTL and HVO have lower consumption than diesel. The influence of fuel properties, namely density, cetane number and calorific value on fuel consumption, is shown. Although modeling the relative consumption of alternative diesel fuel from the models under consideration shows good coincidence with experimental data, more experimental data are required in order to take into account more accurately the contribution of fuel density to its consumption. The dependence of the consumption of alternative diesel fuels on the fuel viscosity may be the topic of further research.*

**Key words:** road transport, fuel consumption, alternative fuel, diesel biofuel, biodiesel, HVO.