

Моделювання витрати палива альтернативних дизельних палив для автомобільного транспорту

Обмеження використання автомобілів, що споживають дизельне паливо в Європі, які мають великі викиди оксидів азоту, приводить до того, що такі автомобілі все більше і більше завозяться на територію України. Автомобільний транспорт з дизельними двигунами стає одним із найбільших забруднювачів повітря в Україні з усього автомобільного транспорту. Найбільш розповсюдженим заміником дизельного палива у Європі є біодизель (дизельне біопаливо), яке, як правило, додається у дизельне паливо. Використання біодизельного палива в автомобільному транспорті пов'язано з деяким збільшенням оксидів азоту і витрати палива. Біодизель має більшу густину і, як правило, більше цетанове число і меншу теплоту згорання, ніж дизельне паливо. Витрата палива для ТЗ, як правило, вимірюється експериментально. Але у випадку використання нових альтернативних палив потрібна оцінка витрати цього палива порівняно з дизельними паливом. Адаптації моделей витрати палива до альтернативних дизельних палив потребують додаткових досліджень. Ще не до кінця зрозумілий вплив характеристик альтернативних палив на його витрату. Отже, дослідження в цій області є досить актуальними, особливо у час воєнних дій, коли потрібно економити як паливо, так і енергію, яка витрачається на експериментальні дослідження.

У роботі розглянуто моделі витрати палива в застосуванні до альтернативних дизельних палив. Проаналізовано вплив характеристик дизельного біопалива на його витрату. Розраховано значення цетанових чисел, густини і теплоти згорання для молекул, з яких складається дизельне біопаливо з утилізованої соняшникової олії. Запропоновано нові коефіцієнти в моделі витрати палива, які показують кращий збіг з експериментальними даними, ніж попередня модель. Підраховані також витрати енергії у випадку використання дизельного палива та біодизеля в автомобільному транспорті.

Ключові слова: автомобільний транспорт; витрата палива; дизельне альтернативне паливо; біодизель; паливна економічність; цетанове число.

Постановка проблеми. Обмеження використання автомобілів, що споживають дизельне паливо в Європі, які мають великі викиди оксидів азоту, приводить до того, що такі автомобілі все більше і більше завозяться на територію України. Автомобільний транспорт з дизельними двигунами стає одним із найбільших забруднювачів повітря в Україні з усього автомобільного транспорту. Найбільш розповсюдженим заміником дизельного палива в Європі є біодизель (дизельне біопаливо), яке, як правило, додається у дизельне паливо. Використання чистого біодизельного палива в автомобільному транспорті пов'язано з деяким збільшенням оксидів азоту. Біодизель має більшу густину і, як правило, більше цетанове число і меншу теплоту згорання, ніж дизельне паливо. Також біодизель показує більшу витрату палива порівняно з дизельним паливом.

Останнім часом в Європі популярності набирає синтетичне дизельне паливо (наприклад, GTL) та відновлювальне дизельне паливо (HVO) як заміники дизельного палива. Ці палива мають меншу в'язкість, ніж біодизельне паливо. Густина відновлювального дизельного палива менша, ніж дизельного палива. Ці альтернативні палива, як правило, показують меншу витрату палива та викидів оксидів азоту порівняно з біодизельним паливом. Відновлювальне паливо має більші значення цетанового числа, ніж дизельне паливо. Витрата палива для транспортних засобів (ТЗ), як правило, вимірюється експериментально. Але у випадку використання нових альтернативних палив потрібна оцінка витрати цього палива порівняно з дизельними паливом. Адаптації моделей витрати палива для альтернативних дизельних палив потребують додаткових досліджень. Ще не до кінця зрозумілий вплив характеристик альтернативних палив на його витрату. Отже, дослідження в цій області є досить актуальними, особливо у час воєнних дій, коли потрібно економити як паливо, так і енергію, яка витрачається на експериментальні дослідження.

Аналіз останніх досліджень. Концепція ідеального заміника дизельного палива в автомобілях з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) викладена в [1], що містить модель для затримки займання дизельного біопалива, яка була розроблена в [2]. В [3] було проаналізовано властивості відновлювального дизельного палива (renewable diesel) порівняно з біодизельним паливом. В [4] модель Говорущенка була застосована до дизельних біопалив і також була розрахована витрата палива для біодизеля з ріпакової олії. Властивість біодизельних палив і молекул, з яких складається біодизель, було проаналізовано в [5]. Цетанові числа біодизельних палив були досліджені в [6].

Моделювання витрати палива для автомобільного транспорту з врахуванням транспортних технологій було проаналізовано в [7]. В [8] запропоновано моделі для підрахунку відносної витрати альтернативних палив, що використовуються як для бензинових двигунів, так і для дизельних двигунів. Моделі [8] враховують вплив густини палива, теплоти згоряння і також цетанового (октанового) числа на витрату альтернативного палива. Теплота згоряння – одна із характеристик дизельного біопалива, зменшення якої приводить до збільшення витрати палива. Експериментальне дослідження теплоти згоряння біодизельного палива описано в [9]. В [10] було проведено як експериментальне, так і теоретичне дослідження витрати палива для біодизельного палива з утилізованих олій. На жаль, моделі, що використовуються в цій роботі, потребують проведення додаткових експериментальних досліджень для визначення їх параметрів.

В [11] підрахована енергія для чотирьох видів транспортних засобів: вантажівок, автобусів та легкових автомобілів, що використовували різні види палива. В моделі, розробленій в [11], також враховується енергія, яка затрачена на виробництво альтернативного палива, але, на жаль, в [11] були знайдені деякі неточності і опіски. Отже, задача моделювання витрати палив для альтернативних дизельних палив все ще не розв'язана і потрібні додаткові дослідження властивостей палив і також створення нової моделі, яка б описувала витрату альтернативного палива в ТЗ порівняно з дизельним паливом.

Метою статті є аналіз моделей витрати палива в застосуванні до альтернативного дизельного біопалива і аналіз впливу характеристик палива на його витрату в автомобільному транспорті.

Викладення основного матеріалу. Моделювання витрати альтернативного дизельного палива

В [7] зміна витрати альтернативного дизельного палива відносно викопного дизельного палива знаходилася за такою формулою, %:

$$\alpha_{FC} = -1,075\Delta\rho - 0,076\Delta CN - 1,113\Delta H, \quad (1)$$

де $\Delta\rho$ – відносна зміна густини, %; ΔCN – відносна зміна цетанового числа, %; ΔH – відносна зміна нижчої теплоти згоряння альтернативного палива, %.

Зміна властивостей альтернативного дизельного палива знаходиться аналогічно цетановому числу:

$$\Delta CN = \frac{CN_{alt} - CN_D}{CN_D} 100 \%,$$

де CN_{alt} – цетанове число альтернативного палива; CN_D – цетанове число дизельного палива.

У рівнянні (1) густина палива входить зі знаком мінус, хоча, як правило, більша густина палива приводить до збільшення витрати палива. Це пов'язано з тим, що альтернативні палива з більшою густиною формують більші краплі, що утруднює процес розпилування палива і в результаті приводить до більшої витрати палива. Формула (1) належить до зміни питомої витрати палива (BSFC, Brake Specific Fuel Consumption).

Характеристики альтернативного дизельного палива. Цетанове число (CN) палива показує здатність палива до згоряння в ДВЗ. Як правило, біодизель має більші значення цетанового числа, ніж дизельне паливо. Не всі біодизельні палива мають однакові цетанові числа, оскільки CN палива залежить від його молекулярної структури. CN дизельних біопалив може бути підраховане за його молекулярним складом. CN для метилових ефірів рослинних олій (що є найбільш розповсюдженими дизельними паливами) зазначені в [4]. В роботі [6] цетанове число дизельних біопалив знаходилося за такою формулою:

$$CN = 61,1 + 0,088 (C14:0) + 0,133 (C16:0) + 0,152 (C18:0) - 0,101 (C16:1) - 0,039 (C18:1) - 0,243 (C18:2) - 0,395 (C18:3). \quad (2)$$

Значення CN, що підраховані за формулою (2), показані в таблиці 1. Як видно з таблиці 1, значення цетанового числа, що одержані зі складу палива, значно менші, ніж значення, що одержані з аналізу спектральних даних (CN NIR), які вказані в [6]. Нами було запропоновано використовувати для підрахунку цетанового числа біопалив, що одержані з використаних олій, таку формулу [6]:

$$CN = 62,7 + 0,088 (C14:0) + 0,133 (C16:0) + 0,152 (C18:0) - 0,101 (C16:1) - 0,036 (C18:1) - 0,241 (C18:2) - 0,395 (C18:3). \quad (3)$$

Значення цетанових чисел (CN нове), що підраховані за формулою (3) для зразків соняшникової олії, показані в останній колонці таблиці 1. Аналіз показав, що формула (3) дає більш точні значення CN для палив, що розглядалися, і може бути рекомендована для моделювання. В таблиці 1 показано молекулярний склад біодизельних палив для зразків, що були виготовлені з соняшникової олії (яка вже була у використанні), а також значення CN для цих палив [6].

Таблиця 1

Значення цетанових чисел біопалив, що виготовлені з використаної соняшникової олії

| Зразок | C14:0 (%) | C16:0 (%) | C16:1 (%) | C18:0 (%) | C18:1 (%) | C18:2 (%) | C18:3 (%) | CN (2) | CN NIR [6] | CN нове (3) |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|------------|-------------|
| Соняшник 38 | 0,14 | 8,0 | 3,0 | 0,22 | 38,7 | 47,8 | 0,10 | 49,4 | 49,7 | 50,6 |
| Соняшник 39 | 0,35 | 8,5 | 3,1 | 0,35 | 46,6 | 39,2 | 0,12 | 51,3 | 52,2 | 52,5 |
| Соняшник 45 | 0,08 | 7,2 | 3,1 | 0,13 | 31,4 | 55,9 | 0,09 | 47,7 | 48,5 | 48,8 |
| Соняшник 46 | 0,15 | 8,3 | 3,0 | 0,31 | 34,5 | 51,3 | 0,09 | 48,8 | 49,6 | 50,0 |
| Соняшник 48 | 0,08 | 8,1 | 3,2 | 0,28 | 34,8 | 52,7 | 0,13 | 48,4 | 48,8 | 49,6 |
| Середнє значення цетанового числа | | | | | | | | 49,12 | 49,76 | 50,3 |

Дизельне біопаливо (біодизель) складається з метилових ефірів жирних кислот. Позначення компонентів, що вказане в таблиці 1 (перший рядок), містить кількість атомів вуглецю в молекулі жирної кислоти, з якої виготовляється метиловий ефір, і кількість подвійних зв'язків у молекулі. Наприклад, C18:2 значить, що молекула має 18 атомів вуглецю і два подвійних зв'язки.

Густина біодизельного палива. Моделювання густини біодизельного палива залежно від молекулярного складу палива показано в роботі [4]. У таблиці 2 зазначена густина метилових ефірів ($\text{кг}/\text{м}^3$), що розраховувалася за такими формулами, які дійсні за температури $288,15 \leq T \leq T_{cr}$ [4]:

$$\rho_l = \rho_{l0} - \alpha_T(T - 288,15),$$

$$\text{де } \rho_{l0} = 851,471 + \frac{250,718DB + 280,899}{1,214 + n_{acid}},$$

$$\alpha_T = \frac{7,536}{\ln(n_{acid}) + 3,584} - 0,446. \quad (4)$$

Нижча теплота згоряння альтернативних дизельних палив. Теплота згоряння – це кількість теплоти, яка виділяється при повному згоранні палива. Вища теплота згоряння дизельного зимового палива дорівнювала 45,574 МДж/кг при випробуванні в калориметричній бомбі, а нижча теплота згоряння – 42,760 МДж/кг, згідно з [9]. Нижча теплота згоряння палива може бути визначена за формулою, що наведена в [9], кДж/кг:

$$H_H = 338,6C + 1256H - 108,7(O - S) - 25H_2O, \quad (5)$$

де C, H, O, S, H_2O – вміст в паливі відповідно вуглецю, водню, кисню, сірки, води, %.

Вища теплота згоряння може бути знайдена за формулою [9], кДж/кг:

$$H_B = 338,6C + 1256H - 108,7(O - S). \quad (6)$$

У таблиці 2 показані цетанове число, густина та теплота згоряння складових молекул біодизельного палива, коли в його склад входить тільки одна молекула, що підраховані за формулами (3–4, 6). У таблиці 2 також міститься зміна цих параметрів відносно аналогічних характеристик дизельного палива з густиною $826 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплотою згоряння $42,5 \text{ МДж}/\text{кг}$ і цетановим числом 45 [9, с. 63].

Таблиця 2

Значення основних характеристик молекул дизельного біопалива

| Позначення за жирною кислотою | Формула метилового ефіру | Густина (4), $\text{кг}/\text{м}^3$ | Теплота згоряння (6), МДж/кг | Цетанове число (3) | $\Delta \rho$, % | ΔCN , % | ΔH , % |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| C12:0 | $C_{13}H_{26}O_2$ | 872,729 | 37,042 | 62,7 | 5,657 | 39,333 | -12,842 |
| C14:0 | $C_{15}H_{30}O_2$ | 869,934 | 42,745 | 71,5 | 5,319 | 58,889 | 0,577 |
| C16:0 | $C_{17}H_{34}O_2$ | 867,789 | 48,447 | 76 | 5,059 | 68,889 | 13,993 |
| C18:0 | $C_{19}H_{38}O_2$ | 866,091 | 54,149 | 78 | 4,854 | 73,333 | 27,409 |
| C16:1 | $C_{17}H_{32}O_2$ | 882,354 | 45,935 | 52,6 | 6,822 | 16,889 | 8,082 |
| C18:1 | $C_{19}H_{36}O_2$ | 879,139 | 51,638 | 59,1 | 6,433 | 31,333 | 21,501 |
| C18:2 | $C_{19}H_{34}O_2$ | 892,188 | 49,126 | 38,6 | 8,013 | -14,22 | 15,591 |
| C18:3 | $C_{19}H_{32}O_2$ | 905,237 | 46,613 | 23,2 | 9,593 | -48,44 | 9,678 |

Як видно з таблиці 2, всі молекули, що входять до складу біодизеля (БД), мають більшу густина, ніж дизельне паливо (ДП). CN молекул біодизельного палива також більше, за виключенням двох останніх молекул. Молекула C18:1 має більше CN, ніж молекула C18:2, через те зразки БД, що мають більший вміст молекули C18:1 у своєму складі, мають більше CN. Щодо теплоти згоряння палива, то вважається, що біодизель повинен мати меншу теплоту згоряння порівняно з ДП через наявність кисню [8]. Наприклад, в [10] наводять значення теплоти згоряння $41,52 \text{ МДж}/\text{кг}$ для БД. Детальне дослідження теплоти згоряння біодизеля з ріпакової олії наведено в [9], що дає значення цієї характеристики в межах $40,075\text{--}40,340 \text{ МДж}/\text{кг}$.

Моделювання шляхової витрати палива. Найбільш розповсюджена модель шляхової витрати палива для автомобільного транспорту ($\text{л}/100 \text{ км}$) – це модель Говорущенка (Харківський національний автомобільно-дорожній університет). Модель описана в [4] і використовує густина палива і теплоту згоряння як характеристики палива.

В [10] для моделювання годинної витрати палива ($\text{кг}/\text{год}$) використовували модель, що розроблена в Національному транспортному університеті (м. Київ) під керівництвом Гутаревича (модель Гутаревича). Зауважується [10], що під час роботи двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу витрата палива повністю визначається характеристиками двигуна. В режимах активного холостого ходу витрата палива описується поліномами залежно від частоти обертання колінчастого валу, що визначаються за результатами експериментів [10]. Витрата палива і повітря в навантажувальних режимах (розгін автомобіля, рух з усталеною швидкістю) розраховуються за поліноміальними залежностями другого ступеня, визначеними за результатами експериментів, залежно від двох змінних, які характеризують режим роботи двигуна: розрідження у впускному трубопроводі та частоти обертання колінчастого валу двигуна [10].

Як зазначено в [10], більша витрата дизельного біопалива пов'язана з меншою теплотою згорання цього палива порівняно з ДП. Коефіцієнт надміру повітря та витрата повітря були практично однакові як на ДП, так і на біодизелі. Було показано, що оптимальним циклом для визначення впливу виду палива на паливну економічність легкового автомобіля є Європейський міський їздовий цикл. У таблиці 3 показано експериментальну шляхову витрату палива дизельного біопалива і дизельного палива автомобіля «Volkswagen Passat», що одержана для різних циклів в [10] і також підраховано відсоток зміни БП відносно ДП.

Таблиця 3

Експериментальна шляхова витрата палива для ДП та БП (л/100 км)

| Цикл | ДП | БП | % зміни |
|--------------|------|------|---------|
| 1, 2 Міський | 5,73 | 5,76 | 0,524 |
| 3, 4 Міський | 5,64 | 5,68 | 0,709 |
| Міський | 5,68 | 5,72 | 0,704 |
| Заміський | 4,47 | 4,57 | 2,237 |
| Змішаний | 4,92 | 5,0 | 1,626 |

Як видно з таблиці 3, шляхова витрата біодизельного і дизельного палив відрізняється незначно і найбільша відмінність у витраті спостерігається під час заміського циклу – (2,237 %). У таблиці 4 показано експериментальні [10] та змодельовані властивості ДП та БП, що виготовлені з утилізованої соняшникової олії (БД1 (сон.)) і курячого жиру (БД2 (кур.)) з густиною 879 та 871 кг/м³ відповідно.

Таблиця 4

Експериментальні [10] та змодельовані властивості ДП та БП

| Показник | ДП1 | ДП2 | БД1 (сон.) | БД2 (кур.) | % зміни БД1–ДП1 | % зміни БД1–ДП2 | % зміни БД2–ДП1 | % зміни БД2–ДП2 |
|-----------------------------------|-------|-------|------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Густина палива, кг/м ³ | 820,1 | 841,8 | 879 | 871 | 7,183 | 4,643 | 6,207 | 3,691 |
| Цетанове число | 52,3 | 51,2 | 52,5* | 56* | 0,382 | 2,539 | 7,075 | 9,375 |
| Теплота згорання**, МДж/кг | 42,5 | 42,5 | 41,52 | 41,52 | -2,305 | -2,306 | -2,306 | -2,306 |
| Йодне число | - | - | 70,3 | 51,1 | | | | |
| Зміна витрати палива, % | | | | | 2,633 | 2,435 | 2,112 | 1,903 |

Примітки: *взято з роботи [9];

** підраховано за (3) для БД з соняшникової олії, зразки (Соняшник 39) та (Суміш 49) [6]

Густина ДП, що показана в таблиці 4, вимірювалася за температури 15 °С, біодизельного палива – 20°С. У таблиці 4 також показано зміну витрати альтернативних дизельних біопалив відносно дизельного, що знайдено за такою залежністю, %:

$$\alpha_{FC} = \frac{1}{75 \Delta \rho} - 0,076 \Delta CN - 1,113 \Delta H. \quad (7)$$

Формула (1) показує гарні узгодження з експериментальними даними для альтернативних палив, що виробляються в Європі [8], але вона показує нереальні результати для палив, характеристики яких наведені в таблиці 4. Формула (7) має інший коефіцієнт при зміні густини (1/75), на відміну від (-0,075), що використовується в (1), що дає реальний результат щодо витрати палива, який найбільше близький до результатів експериментального випробовування з використанням заміського циклу (табл. 3).

Моделювання витрат енергії при використанні альтернативних палив

Згідно з [11] витрата енергії для транспортних засобів автомобільного транспорту (АТ) знаходиться за такою формулою, [МДж/ТЗ-паливо-км]:

$$U_{ijk} = U_g + U_i + U_r + U_d + U_c, \quad (8)$$

де U_g – втрати енергії на подолання сил гравітації; U_i – втрати енергії у зв'язку з прискоренням; U_r – втрати енергії на тертя шин; U_d – втрати енергії у зв'язку з опором повітря, U_c – втрати енергії у зв'язку з силами повороту (cornering forces).

В [11] детально розглянуто всі витрати енергії, які пов'язані з використанням автомобільного транспорту. На жаль, швидше за все, формула, що наведена в роботі [11], містить опіску, де пропущений знак ділення перед η_{motor} . Отже, рівняння витрати енергії для АТ буде мати такий вигляд, [МДж/км]:

$$U_{ijk} = L^{-1} [mg \sin d_g + C_i M_{fr} \beta \alpha d_i + C_r mg \cos \theta \Phi_t d_r \lambda_s + +0,5 \rho A_f C_d V_r^2 \beta d_a + + \left(\frac{m^2 V^4}{R^2 C_{av}} \right) \beta \lambda_s d_c] / (\eta_{motor} e_v \gamma_{fuel}), \quad (9)$$

де L – відстань, км; η_{motor} – ККД двигуна (efficiency of engine).

В [11] було прийнято $\eta_{motor} = 0,27$ (для бензинового двигуна); $\eta_{motor} = 0,4$ (для дизельного двигуна). Всі інші параметри, що використовуються в рівнянні (9), наведені в таблиці 5. Значення параметрів, в основному, адаптовані з [11].

Таблиця 5

Значення параметрів моделі (9) для ДП та БП

| № з/п | Параметр | Одиниця | Позначення | Значення |
|-------|---|-------------------|-----------------|---|
| 1 | Вага автомобіля | кг | m | 2100 (автомобіль) |
| 2 | Прискорення вільного падіння | м/с ² | G | 9,81 |
| 3 | Ухил дороги | радіан | θ | 0 |
| 4 | Коефіцієнт корекції маси (Mass correction factor for rotation inertia acceleration) | – | C_i | 1,05 |
| 5 | Обертальна маса транспортного засобу (rotational mass of vehicle) | кг | M_{fr} | Не враховувався |
| 6 | Показник водіння | – | β | 1 |
| 7 | Відстань прикладання сили, (distance application force) | м | d | 0–192 |
| 8 | Опір коченню | – | C_r | 0,01 |
| 9 | Коефіцієнт ефекту температури | – | Φ_t | Від 0 °F до 110 °F |
| 10 | Коефіцієнт типу покриття (type of pavement) | – | λ_s | 0,29 (асфальт) |
| 11 | Коефіцієнт опору повітря | – | C_d | 0,35 |
| 12 | Фронтальна площа автомобіля | м ² | A_f | 2,52 (автомобіль) |
| 13 | Швидкість автомобіля з врахуванням вітру | км/год | V_r | 20 |
| 14 | Швидкість автомобіля | км/год | V | 20 |
| 15 | Радіус інерції (Path radius from center of gravity) | м | R | Сили на поворотах не враховуються |
| 16 | Коефіцієнт проходження поворотів | кН/рад | C_{av} | Сили на поворотах не враховуються |
| 17 | Прискорення ТЗ | м/с ² | a | 2,5 |
| 18 | Параметр впливу вітру | – | e_v | 1 |
| 19 | ККД | – | η_{motor} | 0,4 (дизель) |
| 20 | Fuel efficiency (ефективність використання палива) | – | γ_{fuel} | 0,335 (біодизель), 0,037 (дизельне паливо) |
| 21 | Густина повітря | кг/м ³ | ρ | 1,225 |

Використовуючи формулу (9) і дані таблиці 5 (відстань $L = 100$ км), одержуємо значення витрати енергії для автомобілів, що становить 257,320 МДж/км для дизельного палива та 28,420 МДж/км – для біодизеля. Ці значення витрати енергії (fuel consumption) близькі до тих, що одержані в [11] для легкового автомобільного транспорту.

Окремої уваги заслуговує значення коефіцієнта «fuel efficiency» (ефективність використання палива) γ_{fuel} . Це тільки одна характеристика, яка використовується в [11] як характеристика палива. Були прийняті такі значення γ_{fuel} для різних видів палива: 0,049 (бензин), 0,037 (дизельне паливо), 0,102 (LPG, зріджений газ), 0,145 (CNG), 0,333 (етанол), 0,335 (біодизель). Зауважимо, що у вказаних в [11] джерелах не міститься інформація щодо коефіцієнтів γ_{fuel} , а тільки описання альтернативних палив.

В [10] розраховувався коефіцієнт енергетичної ефективності ДП і дизельного біопалива, отриманого з утилізованих олив і жирів. Для ДП значення цього коефіцієнта склало 0,06, а для біодизельного палива – 0,0719. Тобто значення «fuel efficiency», що наведено в [11], не є «коефіцієнтом енергетичної ефективності», що зазначено в [10]. «Fuel efficiency» було класифіковано за трьома факторами: вартість, менше забруднення та невідновлювані джерела. Автори [11] вважають, чим вищий (fuel efficiency), тим нижчого буде витрата палива.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі розглянуто моделі витрати палива в застосуванні до альтернативних дизельних палив. Проаналізовано вплив характеристик дизельного біопалива на його витрату. Розраховано значення цетанових чисел, густини і теплоти згорання для молекул, з яких складається дизельне біопаливо з утилізованої соняшникової олії. Біодизельне паливо показує більшу витрату палива порівняно з дизельним паливом у зв'язку з його більшою густиною і меншою теплою згорання. Запропоновано змінити коефіцієнти моделі витрати палива, які показують кращий збіг з експериментальними даними, ніж попередня модель. Підраховані також витрати енергії у випадку використання дизельного та біодизельного палив. Моделювання витрати палива для відновлювального дизельного палива і синтетичного палива може бути темою наступних досліджень.

Список використаної літератури:

1. Колодницька Р.В. Концепція ідеального заміника дизельного палива у ДВЗ / Р.В. Колодницька, О.П. Кравченко // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : Тези XIII міжнародної науково-практичної конференції, 26–28 жовтня. – 2020. – С. 31–33.
2. Колодницька Р.В. Моделювання затримки займання дизельного біопалива / Р.В. Колодницька // Технічна інженерія. – 2020. – № 2 (86). С. 13–17.
3. Колодницька Р.В. Відновлювальне дизельне паливо та синтетичне паливо як альтернатива для дизельного палива / Р.В. Колодницька, О.П. Кравченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. : Технічні науки. – 2019. – № 1 (83). – С. 3–11.
4. Колодницька Р.В. Процеси випаровування та згорання дизельного біопалива у двигунах внутрішнього згорання : монографія / Р.В. Колодницька. – Житомир : ЖДТУ, 2018. – 192 с.
5. Modelling of biodisel fuel droplet heating and evaporation / S.S. Sazhin, M. Al Qubeissi, R. Kolodnytska and other // Fuel. – 2014. – № 115. – P. 559–572.
6. Колодницька Р.В. Моделювання цетанового числа дизельних біопалив для автомобільного транспорту / Р.В. Колодницька // Технічна інженерія. – 2021. – № 1 (87). – С. 9–12.
7. Колодницька Р.В. Моделювання витрати палива для автомобільного транспорту з врахуванням транспортних технологій / Р.В. Колодницька // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Сер. : Технічні науки. – 2022. – Вип. 33 (72), № 2. – С. 201–208.
8. Modeling the end-use performance of alternative fuels in light-duty vehicles / Y. Kroyan, M. Wojcieszek, O. Kaario and other // Energy. – 2020. – № 205. – P. 117854.
9. Грабар І.Г. Біопалива на основі олій для дизельних двигунів : монографія / І.Г. Грабар, Р.В. Колодницька, В.Г. Семенов. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 152 с.
10. Бугрик О.В. Розширення паливної бази дизелів транспортних засобів використанням дизельного біопалива з утилізованих відходів продовольчих жирів : дис. ... к.т.н. : 05.22.10 / О.В. Бугрик. – К., 2021. – 192 с.
11. Ehsani M. Modeling of vehicle fuel consumption and carbon dioxide emission in road transport / M. Ehsani, A. Ahmadi, D. Fadaei // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – № 53. – P. 1638–1648.

References:

1. Kolodnytska, R.V. and Kravchenko, O.P. (2020), «Kontseptsiia idealnoho zaminyyka dyzelnoho palyva u DVZ», *Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu*, Tezy XIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 26–28 zhovtnia, pp. 31–33.
2. Kolodnytska, R.V. (2020), «Modeliuvannia zatrymky zaimannia dyzelnoho biopalyva», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 2 (86), pp. 13–17.
3. Kolodnytska, R.V. and Kravchenko, O.P. (2019), «Vidnovliuvalne dyzelne palyvo ta syntetychne palyvo yak alternatyva dlia dyzelnoho palyva», *Visnyk Zhytomirskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*, Ser. *Tekhnichni nauky*, No. 1 (83), pp. 3–11.
4. Kolodnytska, R.V. (2018), *Protsesty vyparovuvannia ta zghoriannia dyzelnoho biopalyva u dvyhunakh vnutrishnoho zghoriannia*, monohrafiia, ZhDTU, Zhytomyr, 192 p.
5. Sazhin, S.S., Al Qubeissi, M., Kolodnytska, R. et al. (2014), «Modelling of biodisel fuel droplet heating and evaporation», *Fuel*, No. 115, pp. 559–572.
6. Kolodnytska, R.V. (2021), «Modeliuvannia tsetanovoho chysla dyzelnykh biopalyv dlia avtomobilnoho transportu», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 1 (87), pp. 9–12.
7. Kolodnytska, R.V. (2022), «Modeliuvannia vytraty palyva dlia avtomobilnoho transportu z vrakhuvanniam transportnykh tekhnolohii», *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho*, Ser. *Tekhnichni nauky*, Issue 33 (72), No. 2, pp. 201–208.
8. Kroyan, Y., Wojcieszek, M., Kaario, O. et al. (2020), «Modeling the end-use performance of alternative fuels in light-duty vehicles», *Energy*, No. 205, pp. 117854.
9. Hrabar, I.H., Kolodnytska, R.V. and Semenov, V.H. (2011), *Biopalyva na osnovi olii dlia dyzelnykh dvyhuniv*, monohrafiia, ZhDTU, Zhytomyr, 152 p.
10. Buhryk, O.V. (2021), *Rozshyrennia palyvnoi bazy dyzeliv transportnykh zasobiv vykorystanniam dyzelnoho biopalyva z utylizovanykh vidkhodiv prodovolchyykh zhyriv*, Ph.D. Thesis of dissertation, 05.22.10, K., 192 p.
11. Ehsani, M., Ahmadi, A. and Fadaei, D. (2016), «Modeling of vehicle fuel consumption and carbon dioxide emission in road transport», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 53, pp. 1638–1648.

Колодницька Руслана Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-6943-3731>.

Наукові інтереси:

- альтернативні палива для автомобільного транспорту;
- автомобілі з паливними комірками;
- транспортні технології;
- композитні матеріали на основі натуральних волокон.

E-mail: ruslanakolod2017@gmail.com.

Kolodnytska R.V.

Simulation of fuel consumption of alternative diesel fuels for road transport

Restriction of the diesel fuel for road car in Europe, which have large emissions of nitrogen oxides, leads to the fact that such cars are increasingly imported into Ukraine. Transport with diesel engines is becoming one of the largest air pollutants in Ukraine from all road transport. The most common substitute for diesel fuel in Europe is biodiesel, which is usually added to diesel fuel. The use of biodiesel in road transport is associated with some increase in nitrogen oxides and fuel consumption. Biodiesel has a higher density and generally a higher cetane number and less calorific value than diesel.

Fuel consumption for a vehicle, as a rule, is measured experimentally. But in the case of using new alternative fuels, an estimate of the consumption of this fuel compared to diesel fuel is required. Adaptations of fuel consumption models to alternative diesel fuels require additional research. The influence of the characteristics of alternative fuels on its consumption is not yet fully understood. Consequently, research in this area is quite relevant, especially during hostilities, when you need to save both fuel and energy spent on experimental research.

The paper considers models of fuel consumption in application to alternative diesel fuels. The influence of characteristics of diesel biofuel on its consumption is analyzed. The values of cetane numbers, density and heat of combustion for molecules that make up diesel biofuel from utilized sunflower oil are calculated. New coefficients in the fuel consumption model are proposed, which show better coincidence with experimental data than the previous model. Energy consumption in case of using diesel fuel and biodiesel in road transport is also calculated.

Keywords: road transport; fuel consumption; diesel alternative fuel; biodiesel; fuel economy; cetane number.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2023.