

УДК 631.371:62-843

ОЦІНКА ВИТРАТИ ПАЛЬНОГО ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Г.А. Голуб, докт. техн. наук., проф.,

В.В. Чуба, ст. наук. співр.

НДІ техніки і технологій НУБіП України

Приведено теоретичні залежності для визначення витрати пального дизельного двигуна при зміні навантаження.

Ключові слова: *машинно-тракторний агрегат, дизельне пальне, дизельне біопаливо.*

Постановка проблеми. Енергетичні показники машинно-тракторного агрегату (МТА) при взаємодії з робочим середовищем змінюються в досить широких межах, що, в свою чергу, відображається на техніко-економічних показниках, насамперед витраті пального та часі виконання технологічних операцій. Вирішення питання взаємозв'язку між параметрами МТА та його показниками роботи при виконанні технологічних операцій дає можливість виконати моделювання та отримати дані для проведення оптимізації роботи МТА, що особливо важливо при використанні в якості пального дизельного біопалива на основі метилових ефірів жирних кислот рослинної олії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Широкі дослідження дизельного біопалива провів Herbert Lampel [1]. Ним були проведені порівняльні випробування фізико-хімічних та експлуатаційних показників метилових ефірів ріпакової, кокосової, соєвої олій та олій ятрофи в порівнянні з дизельним паливом. За результатами досліджень відзначено зменшення потужності двигуна при переході на дизельне біопаливо та необхідності урахування впливу конструктивних особливостей та режимів роботи двигуна на потужність та паливно-економічні показники. За дослідженнями [2] для двигуна СМД-14 при застосуванні 100 % дизельного біопалива відзначено зменшення максимальної ефективної потужності двигуна на 12 % та збільшення питомої витрати пального на 10–13%.

У роботах [3, 4] авторами експериментально було встановлено, що при однакових енергетичних показниках, економічність двигуна при роботі на метилових ефірах рослинної олії збільшується від 12 до 20 %. У дослідженнях роботи двигуна Д-243 на ріпаковому метиловому ефірі також відзначено істотне збільшення годинної і питомої витрати пального [5].

Аналіз останніх досліджень показує, що на сьогодні виконано досить великий об'єм робіт щодо експериментального визначення зміни витрати пального при переході на дизельне біопаливо, проте питання теоретичного прогнозування змін показників роботи МТА на дизельному біопаливі залишається недостатньо висвітленим та потребує проведення подальших досліджень.

Мета дослідження. Встановити закономірності зміни витрати пального від завантаження двигуна при роботі МТА на дизельному біопаливі.

Результати досліджень. Енергетичний засіб у складі МТА забезпечує тягову силу для виконання переміщення та привод робочої машини через передачу необхідної енергії за допомогою вала відбору потужності.

Згідно проведених нами досліджень [6], вираз для визначення крутного моменту двигуна енергозасобу через характеристики пального та паливopодачі, має наступний вигляд:

$$M_{дв} = \frac{S_{пл} l_{пл} \rho_{п} k_{пл} i Q_{н} \eta_{E}}{2\pi}, \quad (1)$$

де $S_{пл}$ — площа плунжерної пари, м²; $l_{пл}$ — активний хід плунжера, м; $\rho_{п}$ — густина пального, кг/м³; $k_{пл}$ — коефіцієнт подачі пального плунжером паливного насоса, i — кількість впорскувань пального за один оберт двигуна, об⁻¹; $Q_{н}$ — нижча теплотворна здатність пального, Дж/кг; η_{E} — ефективний коефіцієнт корисної дії двигуна, відн. од.

Забезпечення однакової витрати пального при виконанні МТА технологічних операцій на заданій передачі, при однокових обертах двигуна та опорі агрегату як на дизельному, так і на дизельному біопаливі можливе при дотриманні наступної рівності:

$$S_{пл} l_{плдп} \rho_{пдп} k_{плдп} i Q_{ндп} \eta_{Eдп} = S_{пл} l_{плдбп} \rho_{пдбп} k_{плдбп} i Q_{ндбп} \eta_{Eдбп}, \quad (2)$$

де $l_{плдп}$, $l_{плдбп}$ — активний хід плунжера на дизельному пальному та дизельному біопаливі відповідно, м; $\rho_{пдп}$, $\rho_{пдбп}$ — густина дизельного пального та дизельного біопалива відповідно, кг/м³; $k_{плдп}$, $k_{плдбп}$ — коефіцієнт подачі відповідно

дизельного пального та дизельного біопалива плунжером паливного насоса; від. од.; $Q_{ндп}$ $Q_{ндбп}$ — нижча теплотворна здатність дизельного пального та дизельного біопалива відповідно, Дж/кг; $\eta_{едп}$ $\eta_{едбп}$ — ефективний коефіцієнт корисної дії двигуна відповідно на дизельному пальному та дизельному біопаливі, відн. од.

Перейшовши у рівності (2) від геометричних параметрів паливopодачі до годинної витрати пального, отримаємо значення фактичного коефіцієнта ефективності використання дизельного біопалива:

$$k_{дбп} = \frac{G_{дп}}{G_{дбп}} = \frac{Q_{ндбп} \eta_{едбп}}{Q_{ндп} \eta_{едп}}, \quad (3)$$

де $k_{дбп}$ — фактичний коефіцієнт ефективності використання дизельного біопалива, відн. од.; $G_{дп}$ — годинна витрата дизельного пального, кг/год.; $G_{дбп}$ — годинна витрата дизельного біопалива, кг/год.

Отриманий вираз (3) вказує на те, що співвідношення витрат дизельного пального та дизельного біопалива знаходиться у обернено пропорційній залежності від їх нижчих теплотворних здатностей та ефективних коефіцієнтів корисної дії двигуна на відповідному виді пального.

При повному згоранні пального в циліндрі двигуна максимальне значення коефіцієнта ефективності використання дизельного біопалива буде визначатися фактичним співвідношенням нижчих теплотворних здатностей дизельного біопалива та дизельного пального:

$$k_{дбп}^{\max} = \frac{Q_{ндбп}}{Q_{ндп}}, \quad (4)$$

де $k_{дбп}^{\max}$ — максимальний коефіцієнт ефективності використання дизельного біопалива, відн. од.

Очевидно, що коефіцієнт зменшення ефективності використання дизельного біопалива у порівнянні з дизельним паливом можна визначити за виразом:

$$k_{змдбп} = \frac{k_{дбп}}{k_{дбп}^{\max}} = \frac{Q_{ндп} G_{дп}}{Q_{ндбп} G_{дбп}} = \frac{\eta_{едбп}}{\eta_{едп}}, \quad (5)$$

звідки

$$\eta_{едбп} = \eta_{едп} k_{змдбп} = \frac{\eta_{едп} Q_{ндп} G_{дп}}{Q_{ндбп} G_{дбп}}, \quad (6)$$

де $k_{змдбп}$ — коефіцієнт зменшення ефективності використання дизельного біопалива у порівнянні з дизельним паливом, відн. од.

Ефективний ККД двигуна можна визначити згідно загальновідомої формули [7]:

$$\eta_E = \frac{3,6 \cdot 10^6}{g_E Q_H} = \frac{3,6 \cdot 10^3 N_E}{G Q_H} \quad (7)$$

де η_E — ефективний коефіцієнт корисної дії двигуна, відн. од.; g_E — питома витрата пального, г/Вт год.; Q_H — нижча теплотворна здатність палива, Дж/кг; N_E — ефективна потужність двигуна, Вт; G — годинна витрата пального, кг/год.

Для виконання подальших теоретичних розрахунків параметрів роботи дизельного двигуна згідно формули (7) необхідно знати зміну ефективного коефіцієнта корисної дії в залежності від зміни потужності. Нами виконано аналіз регуляторної характеристики роботи двигуна Д-65Н [8] на регуляторній гілці та отримано залежність зміни ефективного ККД від завантаження двигуна та виконано її апроксимацію (рис. 1).

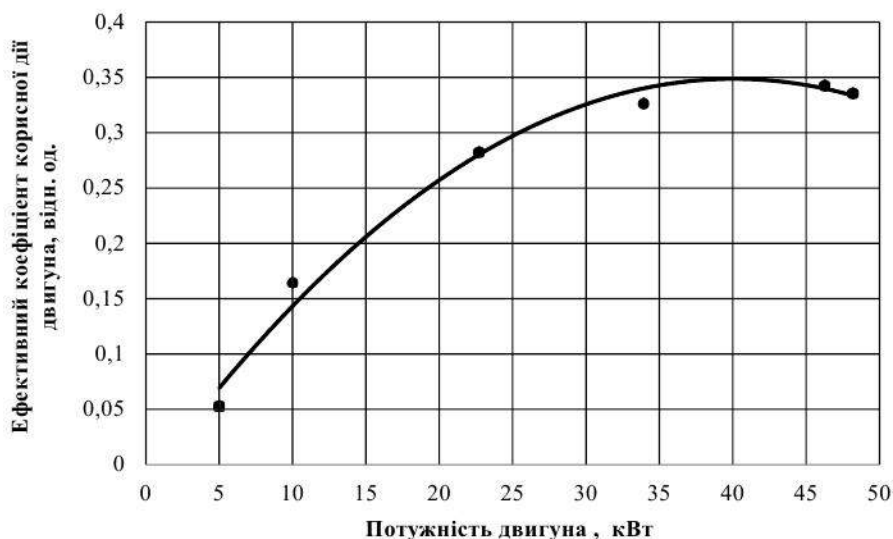


Рис. 1. Залежність ефективного коефіцієнта корисної дії двигуна Д-65Н від його завантаження на дизельному пальному

Було встановлено, що ефективний коефіцієнт корисної дії, в залежності від завантаження двигуна, з вірогідністю $R^2 = 0,986$ можна описати поліномом другого ступеня:

$$\eta_{ЕДП} = \alpha N_E^2 + \beta N_E + \gamma, \quad (8)$$

де α , β , γ — коефіцієнти апроксимації ($\alpha = -0,00022732$, $\beta = 0,01821223$, $\gamma = 0,01612949$).

Із виразу (7), годинна витрата дизельного пального становитиме:

$$G_{ДП} = \frac{3,6 \cdot 10^3 N_E}{Q_{НДП} \eta_{ЕДП}} = \frac{3,6 \cdot 10^3 N_E}{Q_{НДП} (\alpha N_E^2 + \beta N_E + \gamma)}. \quad (9)$$

Зміна ефективного ККД двигуна Д-65Н згідно з його регуляторної характеристики показує, що найефективніше двигун переводить хімічну енергію дизельного пального в ефективну роботу при завантаженні, близькому 40 кВт. Для даного двигуна це відповідає його завантаженню на рівні 85–90 %. Цей діапазон завантаження двигуна енергозасобу відповідає оптимальному, до якого доцільно наближатися при формуванні МТА для виконання технологічних операцій. На нашу думку, для отримання адекватних даних при визначенні коефіцієнта зменшення ефективності використання дизельного біопалива доцільно порівнювати витрату пального двигуном саме при даному завантаженні.

Із виразу (7) годинна витрата дизельного біопалива становитиме:

$$G_{ДБП} = \frac{3,6 \cdot 10^3 N_E}{Q_{НДБП} \eta_{ЕДП} k_{зМДБП}} = \frac{3,6 \cdot 10^3 N_E}{Q_{НДБП} (\alpha N_E^2 + \beta N_E + \gamma) \left(\frac{Q_{НДП} G_{ДП}^{ОПТ}}{Q_{НДБП} G_{ДБП}^{ОПТ}} \right)}, \quad (10)$$

де $G_{ДП}^{ОПТ}$, $G_{ДБП}^{ОПТ}$ — відповідно годинна витрата дизельного пального та дизельного біопалива в оптимальному діапазоні, кг/год.

Для перевірки адекватності отриманих виразів для визначення витрати пального нами знята регуляторна характеристика дизельного двигуна Д-65Н на дизельному пальному та дизельному біопаливі. В таблиці наведено значення експериментальної регуляторної характеристики роботи двигуна Д-65Н на регуляторній гілці та теоретично розраховано значення показників у відповідних точках згідно виразів (9) та (10).

Таблиця. Значення експериментальних та теоретичних точок регуляторної характеристики роботи двигуна Д-65Н на регуляторній гілці

Дизельне паливо					
Потужність, кВт	10	20	30	40	45,73
Практична витрата пального, кг/год	4,86	6,36	8,33	9,96	11,76
Питома витрата пального практична, г/кВт год	0,474	0,312	0,277	0,249	0,257
Розрахунковий ККД двигуна, від. од.	0,147	0,2607	0,3260	0,3486	0,3413
Теоретична витрати пального, кг/год	5,99	6,70	7,90	9,83	11,487
Питома витрата пального теоретична, г/кВт год	0,583	0,329	0,263	0,246	0,251
Відхилення отриманих теоретичних даних, %	23,3	5,4	-5,0	-1,3	-2,4
Дизельне біопаливо					
Потужність, кВт	10	20	30	40	45,61
Практична витрата пального, кг/год	5,72	7,36	9,78	11,95	13,68
Питома витрата пального практична, г/кВт год	0,557	0,361	0,324	0,299	0,300
Коефіцієнт зменшення ефективності використання дизельного біопалива	0,946	0,946	0,946	0,946	0,946
Теоретична витрати пального, кг/год	7,19	8,04	9,51	11,77	13,73
Питома витрата пального теоретична, г/кВт год	0,700	0,395	0,315	0,295	0,301
Відхилення отриманих теоретичних даних, %	25,66	9,24	-2,78	-1,52	0,362

Під час проведення теоретичних розрахунків прийнято значення нижчої теплотворної здатності дизельного пального на рівні 42 МДж/кг, дизельного біопалива — 37 МДж/кг.

На базі отриманих теоретичних та експериментальних даних побудовано графіки зміни питомих витрат пального від зміни навантаження з нанесенням експериментальних точок та побудови теоретичних ліній відповідно для дизельного пального та дизельного біопалива (рис. 2).

Аналіз підтверджує відповідність розрахункових даних експериментальним у діапазоні від 20 до 45 кВт, відхилення теоретичних характеристик у діапазоні до 20 кВт, на нашу думку, пов'язано з низьким ККД в цьому діапазоні та є несуттєвим, оскільки даний діапазон менший за половину потужності двигуна, і робота МТА при такому навантаженні недоцільна.

Висновок. Отримано теоретичні залежності для визначення витрат пального при роботі дизельного двигуна внутрішнього згоряння на дизельному пальному

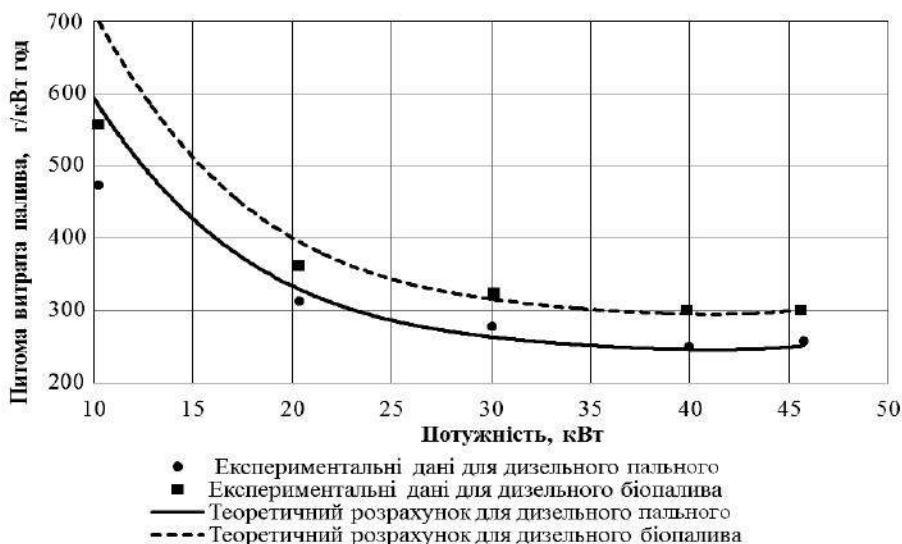


Рис. 2. Зміна питомих витрат пального на дизельному пальному та дизельному біопаливі в залежності від ефективної потужності двигуна

та дизельному біопаливі, які дають можливість спрогнозувати витрату пального при роботі МТА на виконанні технологічних операцій у залежності від його завантаження. Проведений аналіз експериментальних даних та даних, отриманих згідно теоретичних розрахунків, дозволяє стверджувати про адекватність отриманих математичних залежностей визначення витрати пального та можливість їх застосування для прогнозування витрати пального в залежності від навантаження при роботі МТА.

Бібліографія

1. *Dl. Herbert Lampel*. Alternative fuels for diesel engines // OECD Annual Meeting, Paris, 2007.222.116.EUCAJR/CÖNCAVE/JRC, Nov. — 2003.
2. *Войтов В., Карнаух М., Даценко М.* Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів з використанням біодизеля // Техніка і технології АПК. — 2009. — № 1. — С. 13-17.

3. *Черненко С.М.* Економічні та енергетичні показники роботи дизельного двигуна при використанні біопалива з ріпаку / С.М. Черненко, А.Г Атамась // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського. — Кременчук, 2007. — Вип. № 2. — Ч. 2. — С. 85-89.
4. *Ивановский, В.Г.* Анализ параметров рабочего процесса судового среднеоборотного двигателя при работе на биодизеле [текст] / В. Г. Ивановский, Р.А. Варбанец, В.М. Горбов, В.С. Митенкова // Авиационно-космическая техника и технологии. — 2009. — № 8 (65). — С. 102-106.
5. *Попов Д.В., Линник І.І.* Покращення екологічних показників дизельних двигунів // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. — 2011. — № 4. — С. 79-82.
6. *Голуб Г.А.* Визначення тягової сили енергозасобів при роботі на дизельному біопаливі / Г.А. Голуб, В.В. Чуба // Міжвід. темат. наук. зб. ННЦ «ІМЕСГ» НААН «Механізація та електрифікація сільського господарства». — Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2013. — Вип. № 98. — Т.2. — С. 135-145.
7. *Николаенко А.В.* Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. —М.: Колос, 1984. — 335 с.
8. *Протокол №29-105-84 (2014410) периодических испытаний трактора ЮМЗ-6АЛ изготовления 1983 года. / ВНИИМОЖ/ — Васильков, 1984. — 117 с.*

ОЦЕНКА РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА

Приведены теоретические зависимости для определения расхода топлива дизельного двигателя при изменении нагрузки.

Ключевые слова: *машинно-тракторный агрегат, дизельное топливо, дизельное биотопливо.*

CONSUMPTION FUEL ESTIMATION WITH USING DIESEL BIOFUEL

The theoretical dependences for determining the fuel consumption of the diesel engine from the load are shown.

Key words: *power tool, diesel fuel, diesel biofuel.*