

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ РОБОТИ ДВИГУНА ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Г. А. Голуб, доктор технічних наук., професор, **В. І. Ребенко**,
кандидат технічних наук., доцент, **В. В. Чуба**, науковий співробітник
НДІ техніки і технологій НУБіП України

Приведено теоретичні залежності та запропоновано методику визначення експлуатаційних параметрів роботи дизельного двигуна в залежності від навантаження, типу та характеристик палива, виконано аналіз отриманих теоретичних залежностей та експериментальних даних. Встановлено вплив нагріву дизельного біопалива на ефективні показники роботи дизельного двигуна внутрішнього згорання.

Ключові слова: машино-тракторний агрегат, дизельне паливо, дизельне біопаливо, підігрів.

Постановка проблеми. Параметри агротехнологічного середовища змінюються в досить широких межах та впливають на техніко-економічні показники роботи машино-тракторного агрегату (МТА). Вирішення питання взаємозв'язку між параметрами МТА та показниками його роботи при виконанні технологічних операцій, дозволить виконати моделювання та отримати дані для оптимізації його роботи, що особливо важливо при застосуванні в якості палива дизельного біопалива (ДБП) на основі метилових ефірів жирних кислот рослинної олії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За результатами досліджень [1] відмічено зменшення потужності двигуна при переході на ДБП та вказано на необхідність урахування конструктивних особливостей та режимів роботи на потужність та паливо-економічні показники двигуна. За дослідженнями [2] для двигуна СМД-14 при застосуванні 100% ДБП відмічено зменшення максимальної ефективної потужності двигуна на 12 % та збільшення питомої витрати палива 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 знижується від 12 до 20 %. У дослідженнях роботи двигуна Д-243 на рапсовому метиловому ефірі відмічено істотне збільшення годинної і питомої витрати палива [5].

Аналіз останніх досліджень показує, що на сьогодні виконано досить великий об'єм робіт, щодо експериментального визначення

зміни витрати палива при переході на ДБП. Проте питання теоретичного прогнозування змін показників роботи МТА та визначення факторів, які впливають, на ефективність застосування ДБП залишаються недостатньо висвітленим та потребують проведення подальших досліджень.

Мета дослідження. Встановити закономірності зміни експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна при використанні дизельного палива (ДП) нафтового походження та ДБП на основі рослинних олій. Визначити ефективність застосування нагріву ДБП перед його впорскуванням в циліндр двигуна внутрішнього згорання.

Результати досліджень. Енергетичний засіб у складі МТА забезпечує тягову силу для виконання переміщення та привід робочої машини, через передачу необхідної енергії за допомогою валу відбору потужності. Згідно проведених нами досліджень [6], отримано залежність для визначення коефіцієнта зменшення ефективності використання ДБП у порівнянні з ДП, який визначається виразом:

$$k_{змДБП} = \frac{k_{ДБП}}{k_{ДБП}^{\max}} = \frac{Q_{ндП} G_{ДП}}{Q_{ндБП} G_{ДБП}} = \frac{\eta_{ЕДБП}}{\eta_{ЕДП}}, \quad (1)$$

звідки

$$\eta_{ЕДБП} = \eta_{ЕДП} k_{змДБП} = \frac{\eta_{ЕДП} Q_{ндП} G_{ДП}}{Q_{ндБП} G_{ДБП}}, \quad (2)$$

де $k_{змДБП}$ – коефіцієнт зменшення ефективності використання ДБП у порівнянні з ДП, відн. од.; $k_{ДБП}$ – фактичний коефіцієнт ефективності використання ДБП, відн. од.; $k_{ДБП}^{\max}$ – максимальний коефіцієнт ефективності використання ДБП, відн. од.; $G_{ДП}$ – годинна витрата ДП, кг/год; $G_{ДБП}$ – годинна витрата ДБП, кг/год; $Q_{ндП}$ – нижча теплотворна здатність ДП, Дж/кг; $Q_{ндБП}$ – нижча теплотворна здатність ДБП, Дж/кг; $\eta_{ЕДП}$ – ефективний коефіцієнт корисної дії двигуна на ДП, відн. од.; $\eta_{ЕДБП}$ – ефективний коефіцієнт корисної дії двигуна на ДБП, відн. од.

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

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

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

Для виконання подальших теоретичних розрахунків параметрів роботи дизельного двигуна згідно формули (3), необхідно знати зміну ефективного коефіцієнта корисної дії в залежності від зміни потужності. Нами проаналізовано регуляторну характеристику роботи двигуна Д-65Н[8] на регуляторній гілці та отримано залежність зміни ефективного коефіцієнта корисної дії від завантаження двигуна та виконано її апроксимацію (рис. 1). Встановлено, що ефективний коефіцієнт корисної дії, в залежності від завантаження двигуна, з вірогідністю $R^2 = 0,986$ можна описати поліномом другого ступеню:

$$\eta_{ЕДП} = \alpha N_E^2 + \beta N_E + \gamma, \quad (4)$$

де α , β , γ – коефіцієнти апроксимації ($\alpha = -0,000176953$, $\beta = 0,014935465$, $\gamma = 0,040581582$).

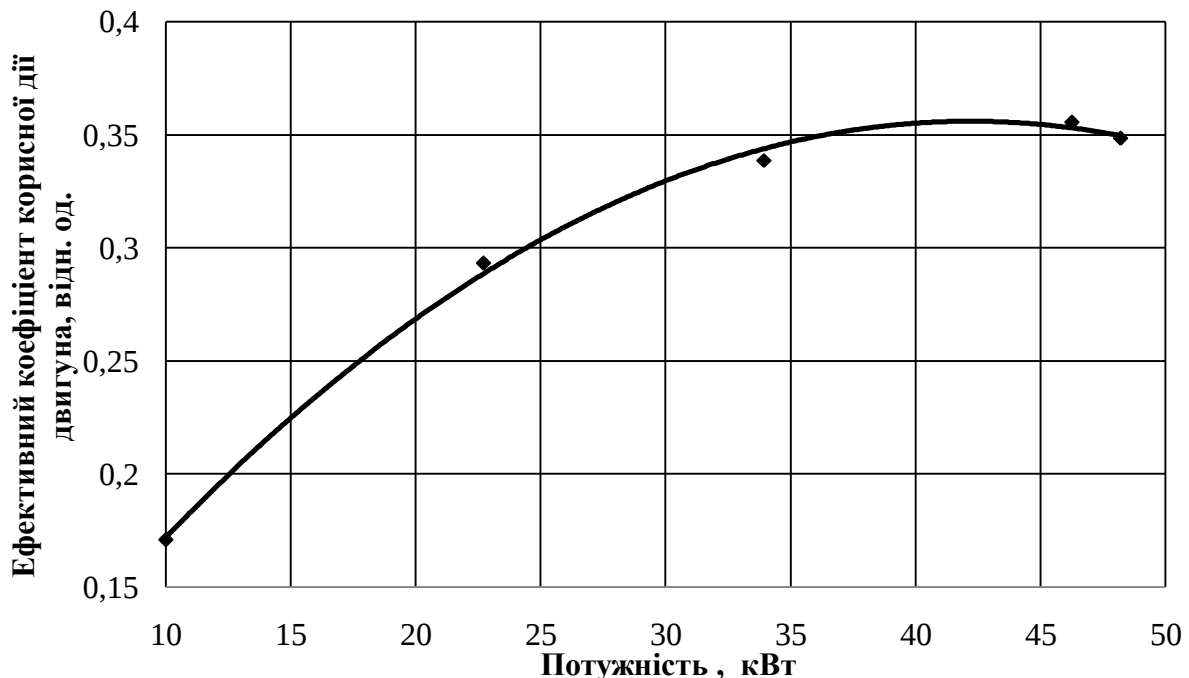


Рис. 1. Залежність ефективного коефіцієнта корисної дії двигуна Д-65Н на ДП від його завантаження

Із виразу (3), годинна витрата дизельного палива становитиме:

$$G_{ДП} = \frac{3,6 \cdot 10^3 N_E}{Q_{НДП} \eta_{ЕДП}} = \frac{3,6 \cdot 10^3 N_E}{Q_{НДП} (\alpha N_E^2 + \beta N_E + \gamma)} \quad (5)$$

Зміна ефективного коефіцієнта корисної дії двигуна Д-65Н згідно з його регуляторної характеристики показує, що найефективніше двигун переводить хімічну енергію ДП в ефективну роботу при завантаженні близькому до 40 кВт. Для даного двигуна це відповідає його завантаженню на рівні 85-90 %. Цей діапазон завантаження двигуна енергозасобу відповідає оптимальному до якого доцільно наблизитися при формуванні МТА при виконанні

технологічних операцій. На нашу думку, для отримання адекватних даних, при визначенні коефіцієнта зменшення ефективності використання ДБП, доцільно порівнювати витрату палива двигуном саме при даному завантаженні.

Із виразу (5) годинна витрата дизельного біопалива становитиме:

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

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

Для визначення експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна, виконано порівняльні стендові випробування роботи двигуна Д-65Н. Отримано характеристики дизельного двигуна на регуляторній гілці, при роботі на ДП нафтового походження, ДБП на основі метилових ефірів жирних кислот ріпакової олії та з застосуванням підігріву ДБП перед впорскуванням до циліндра. Для виконання стендових досліджень виконано модернізацію штатної системи живлення трактора ПМЗ-6 АКЛ згідно [9], температуру нагріву ДБП було прийнято на рівні 120 °С, що відповідає результатам раніше проведених досліджень [10]. Для перевірки адекватності отриманої методики визначення зміни експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна, виконано розрахунки при застосуванні відповідного типу палива та виконано порівняння отриманих теоретичних та експериментальних даних (табл. 1). При проведенні теоретичних розрахунків значення нижчої теплотворної здатності дизельного палива прийнято на рівні 41 МДж/кг, дизельного біопалива – 37 МДж/кг.

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

Дизельне паливо					
1	2	3	4	5	6
Потужність, кВт	10,28	20,39	30,08	39,96	45,73
Годинна витрата палива, кг/год.	4,86	6,36	8,33	9,96	11,76
Питома витрата палива, г/кВт год.	473	312	277	249	257
Коефіцієнт корисної дії двигуна, від. од.	0,1857	0,2815	0,3171	0,3523	0,3414
Розрахунковий коефіцієнт корисної дії двигуна, від. од.	0,1754	0,2715	0,3297	0,3548	0,3535

Різниця між практичним та розрахунковим ККД двигуна, %	1,03	1,00	1,27	0,26	1,21
--	------	------	------	------	------

Прод. табл.

1	2	3	4	5	6
Розрахункова годинна витрати палива, кг/год.	5,15	6,59	8,01	9,89	11,36
Розрахункова питома витрата палива, г/кВт год.	501	323	266	247	248
Відхилення розрахункової питомої витрати палива від експериментальної, %	5,88	3,67	3,84	0,72	3,42

Дизельне біопаливо без підігріву

Потужність, кВт	10,28	20,36	30,18	39,89	45,61
Годинна витрата палива, кг/год.	5,72	7,36	9,78	11,95	13,68
Питома витрата палива, г/кВт год.	556	361	324	300	300
Коефіцієнт корисної дії двигуна, від. од.	0,1749	0,2692	0,3002	0,3248	0,3244
Коефіцієнт зменшення ККД двигуна, від. од.	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924
Розрахунковий коефіцієнт корисної дії двигуна, від. од.	0,1620	0,2506	0,3049	0,3277	0,3266
Різниця між практичним та розрахунковим ККД двигуна, %	1,29	1,86	0,47	0,29	0,23
Розрахункова годинна витрати палива, кг/год.	6,17	7,91	9,63	11,84	13,59
Розрахункова питома витрата палива, г/кВт год.	601	388	319	297	298
Відхилення розрахункової питомої витрати палива від експериментальної, %	7,93	7,41	1,53	0,88	0,69

Дизельне біопаливо з підігрівом

Потужність, кВт	9,71	18,70	29,23	37,66	45,61
Годинна витрата палива, кг/год.	5,23	6,61	9,17	10,90	13,10
Питома витрата палива, г/кВт год.	539	353	314	289	287
Коефіцієнт корисної дії двигуна, від. од.	0,1806	0,2753	0,3100	0,3362	0,3388
Коефіцієнт зменшення ККД двигуна, від. од.*	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953
Розрахунковий коефіцієнт корисної дії двигуна, від. од.	0,1610	0,2460	0,3107	0,3356	0,3372
Різниця між практичним та розрахунковим ККД двигуна, %	1,96	2,93	0,07	-0,05	-0,16
Розрахункова годинна витрати палива, кг/год.	5,87	7,40	9,15	10,92	13,16
Розрахункова питома витрата палива теоретична, г/кВт год.	604,20	395,60	313,12	289,88	288,57
Відхилення розрахункової питомої витрати палива від	12,18	11,92	0,24	0,16	0,47

експериментальної, %					
----------------------	--	--	--	--	--

* – значення витрати палива отримано методом інтерполяції, виходячи із витрати палива при навантаженні 38 кВт.

На базі отриманих теоретичних та експериментальних даних побудовано графіки (рис. 2, 3) зміни коефіцієнта корисної дії двигуна Д-65Н та його питомих витрат палива від зміни навантаження, з нанесенням експериментальних точок та теоретичних характеристик відповідно для ДП та ДБП без та з застосуванням нагріву палива перед впорскуванням.

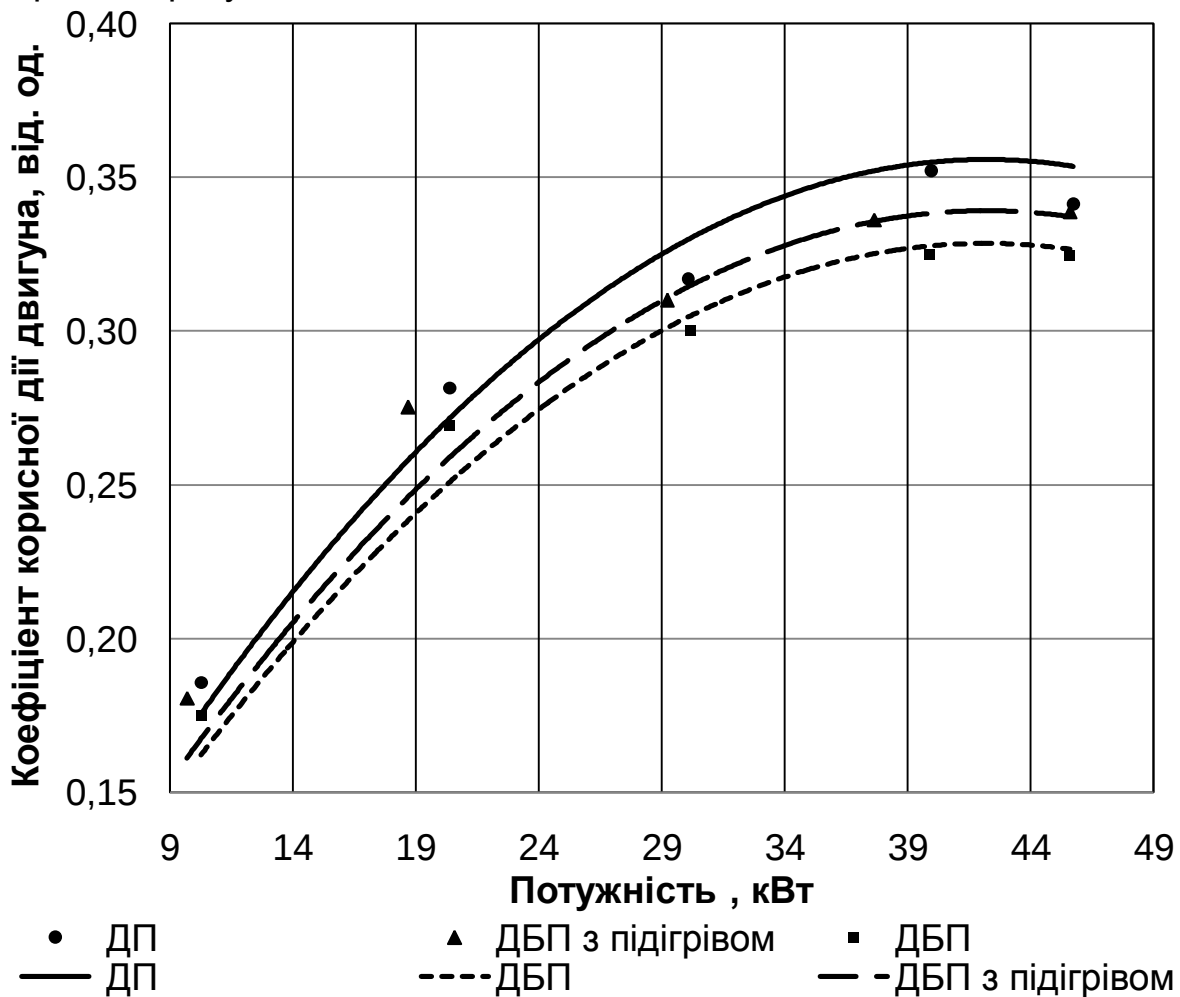


Рис. 2. Зміна коефіцієнта ефективності використання палива дизельним двигуном внутрішнього згорання

Аналіз отриманих експериментальних та теоретичних даних зміни коефіцієнта корисної дії двигуна підтверджує відповідність розрахункових даних експериментальним. Так максимальне відхилення розрахункового значення коефіцієнта корисної дії двигуна від експериментального для ДП склало 1,27 % при навантаженні 30 кВт, для ДБП без підігріву 1,86 % при навантаженні 20 кВт та 2,93 % для ДБП з підігрівом при навантаженні близькому

до 19 кВт. Застосування нагріву ДБП перед впорскуванням в циліндр двигуна сприяє покращенню його згорання, як наслідок відбувається підвищення коефіцієнта корисної дії двигуна на величину від 2,2 до 4,2 % в залежності від величини навантаження.

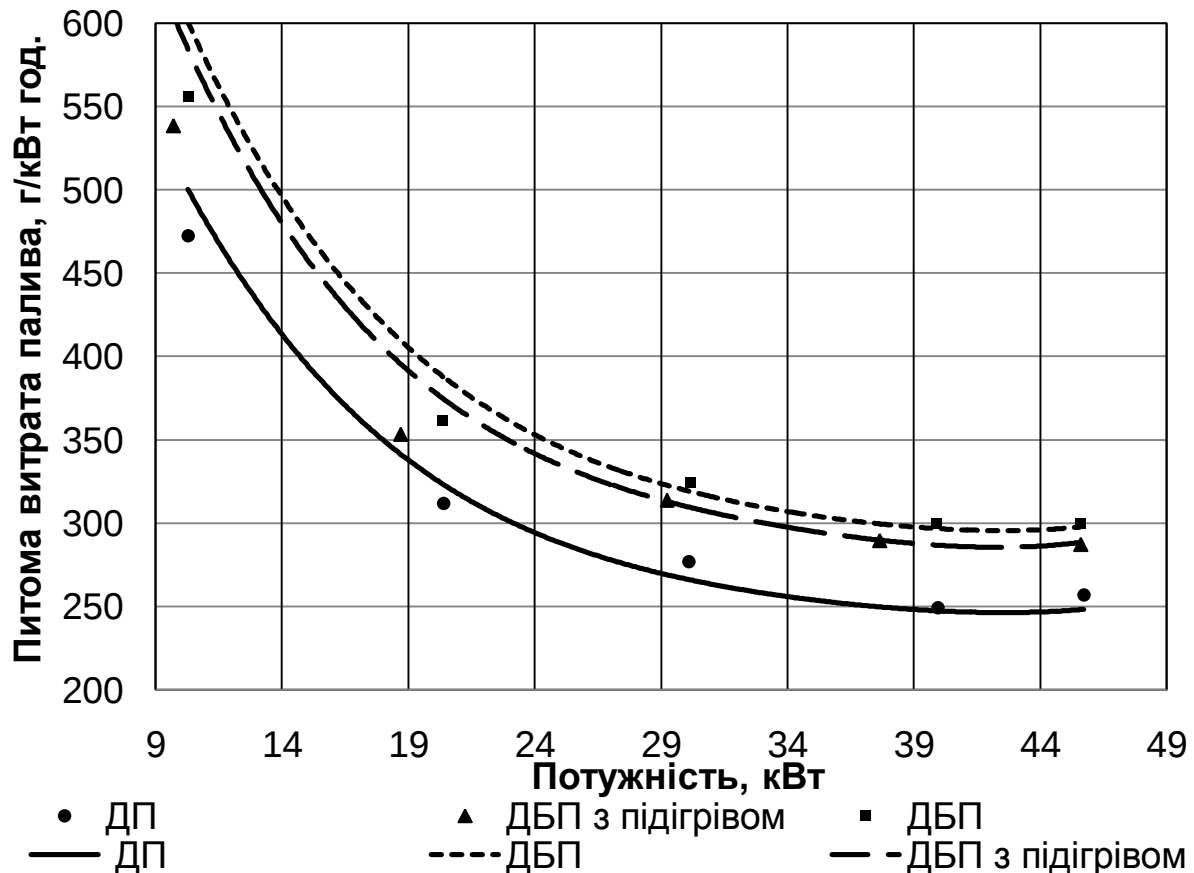


Рис.3. Зміна питомих витрат палива на ДП та ДБП із застосуванням підігріву та без нього в залежності від ефективної потужності двигуна

Аналіз показує, що значення показників питомої витрати палива отримані розрахунковим шляхом відповідають експериментальним. Так максимальне відхилення розрахункової питомої витрати ДП від експериментальної склала менше 6 % при навантаженні 10,28 кВт, на ДБП без підігріву палива – 7,93 % при 10,28 кВт та 12,93 % із застосування підігріву ДБП при навантаженні 9,71 кВт. Проте слід зазначити, що відхилення розрахункової питомої витрати палива від експериментальних даних в інтервалі навантаження від 30 до 45 кВт, не перевищило 4%.

Висновок. Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволяє стверджувати, що застосування підігріву ДБП перед впорскуванням у циліндр двигуна сприяє покращенню його згорання, як наслідок, відбувається підвищення коефіцієнта корисної дії

двигуна та спостерігається зменшення питомої витрати в середньому близько 4%.

Проведений аналіз експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна на різних типах палива отриманих розрахунковим та експериментальним шляхом, дозволяє стверджувати про адекватність отриманих математичних залежностей та можливість застосування запропонованої методики для прогнозування зміни витрати палива в залежності від завантаження двигуна, типу та характеристик палива, що застосовується при роботі МТА.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *DI. 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 технология. – 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 – 580 с. – С. 135-145.*

7. *Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчета в то тракторных 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.*

9. Трегуб М.І., Чуба В.В. Спосіб температурної підготовки пального на двигунах. Патент на корисну модель № 21673 України, МПК (2006) P02M 31/02., бюл. №3., 2007.

10. Голуб Г.А., Чуба В.В., Павленко М.Ю. Напрямки удосконалення виробництва і використання дизельного біопалива // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – Вінниця, 2012. – Вип. 10 т.1. – С. 20-23.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА

Приведены теоретические зависимости и предложена методика определения изменения эксплуатационных параметров работы дизельного двигателя в зависимости от нагрузки, типа и характеристик топлива, выполнен анализ полученных теоретических зависимостей и экспериментальных данных. Установлено влияние нагрева дизельного биотоплива на эффективные показатели работы дизельного двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: *машинотракторный агрегат, дизельное топливо, дизельное биотопливо, подогрев.*

THE ENGINE OPERATIONAL PARAMETERS WITH APPLYING BIODIESEL

It showed the theoretical dependence and given the method for determination of technical and operational parameters changing of diesel engine operation beholds load, the type and characteristics of the fuel, the analysis of the obtained theoretical dependences and experimental data. It is the effect of diesel fuel heating for the effective performance of a diesel internal combustion engine.

Keywords: *power tool, diesel fuel, diesel biofuels, heating.*