

УДК 621.436

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ МОТОРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОПАЛИВА НА ЕНЕРГОЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

А.М. Левтеров, ст. наук. співр., к.т.н., В.П. Мараховський, мол. наук. співр.,
В.Д. Савицький, гол. інженер відділу, Інститут проблем машинобудування
імені А.М. Підгорного НАН України, м. Харків

Анотація. Наведено результати стендових випробувань дизельного двигуна Д21А (2 Ч 10,5/12), що працює на суміші дизельного палива підвищеної якості (Євро) та біопалива, синтезованого шляхом етанольної переестерифікації ріпакової оливи.

Ключові слова: дизельний двигун, біодизельне паливо, токсичність, характеристика, експеримент.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОТОРНЫХ КАЧЕСТВ БИОТОПЛИВА НА ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.М. Левтеров, ст. науч. сотр., к.т.н., В.П. Мараховский, мл. науч. сотр.,
В.Д. Савицкий, гл. инженер отдела, Институт проблем машиностроения
имени А.Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков

Аннотация. Приведены результаты стендовых испытаний дизельного двигателя Д21А (2 Ч 10,5/12) при работе на смеси дизельного топлива улучшенного качества (Евро) и биотоплива, синтезированного путем этанольной переэтерификации рапсового масла.

Ключевые слова: дизельный двигатель, биодизельное топливо, токсичность, характеристика, эксперимент.

STUDYING OF INFLUENCE OF BIOFUEL MOTOR QUALITIES ON POWER AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE DIESEL ENGINE

A. Levterov, Senior Researcher, Candidate of Technical Science, V. Marakhovskiy,
junior research worker, V. Savitskiy, chief engineer,
IPMash after A. Podgorny of NAS of Ukraine, Kharkiv

Abstract. The results of bench tests of D21A (2 Ч 10,5/12) diesel engine at its operation on mixed diesel fuel with improved qualities (Euro) and the biofuel synthesized by the way of ethanol interesterification of rapeseed oil are offered.

Key words: diesel engine, biodiesel fuel, toxicity, characteristic, experiment.

Вступ

Використання біодизельного палива в Україні для потреб автомобільного транспорту та особливо у сільгоспвиробництві дозволить зменшити витрати світлих нафтопродуктів, створити нові робочі місця, зменшити навантаження на довкілля від токсичних викидів.

Дизельні двигуни більшості сільгоспмашин та автотранспорту дозволяють використовувати суміші традиційного палива з біодизельною складовою, що доведено експериментальними випробуваннями та експлуатаційною перевіркою [1–3]. Розробка та набуття чинності в Україні стандартами на моторне альтернативне паливо [4, 5] не є достатньою

умовою для його виробництва та широкого використання, оскільки відсутні нормативні документи на сумішеві дизельні палива.

Отже, визначення найбільш ефективних рецептур сумішевого палива як за вмістом біопалива, так і за впливом якості базового дизпалива на енергоекологічні показники дизельного двигуна є актуальним напрямом досліджень.

Аналіз публікацій

В Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України (ІБОНХ НАН України) розроблено досконалу технологію виробництва біодизельного палива шляхом етанольної переестерифікації ріпакової оливи [6]. Експериментальні дослідження моторних властивостей такого палива проведено в Інституті проблем машинобудування імені А.М. Підгорного НАН України. Ці дослідження полягали у виконанні порівняльних стендових випробувань дизельного двигуна широкого призначення моделі Д21А (2 Ч 10,5/12) при використанні в якості палива сумішей різноманітного складу. Біологічна складова сумішевого палива синтезована в ІБОНХ НАН України. Мінеральна складова – дизельне паливо з цетановим числом 45 одиниць, за ДСТУ 3868-99.

Як показали експериментальні дослідження [3], перехід до роботи дизельного двигуна на сумішевих паливах потребує оптимізації кута випередження впорскування, тобто зміни регульовальних налаштувань паливної системи. Після цього використання біодизельного палива в суміші з дизельним паливом за ДСТУ 3868-99 практично не спричиняє зменшення потужності. Деяке зниження максимальної ефективної потужності дизеля спостерігається лише за вмісту в сумішевому паливі понад 80 % біологічної складової. Значення максимального крутного моменту збільшується зі зменшенням в зону більш низьких значень частоти обертання колінчастого вала, тобто покращується характеристика крутного моменту, а відтак і динаміка транспортного засобу. До того ж спостерігається підвищення максимального ефективного ККД. Покращились і екологічні показники дизельного двигуна при роботі на сумішевих паливах, в тому числі такі важливі як викиди оксидів азоту та димність відпрацьованих газів.

Мета і постановка задачі

Отримані результати [3] додали оптимізму в дослідженнях щодо доцільності використання біодизельного палива, та все ж таки існує одне «але». Мінеральне дизельне паливо, що використовувалось в якості еталона та для приготування паливних сумішей, мало характеристики, які відповідають одному з двох чинних стандартів, а саме ДСТУ 3868-99. Таке паливо використовується в основному для техніки сільськогосподарського призначення і має дуже низькі екологічні показники. Тому Міністерством економічного розвитку та торгівлі України було прийнято рішення про припинення дії означеного стандарту з 1 липня 2012 року та повний перехід на інший стандарт – ДСТУ 4840:2007 (Паливо дизельне підвищеної якості), згідно з яким цетанове число повинно бути не нижчим, ніж 51 одиниця [7].

Саме таке паливо поліпшеної якості зі збалансованим фракційним складом, що дозволяє зменшити токсичність та димність відпрацьованих газів дизеля, було використано в якості еталона та для приготування сумішей з біопаливом під час виконання досліджень щодо вивчення впливу моторних властивостей біодизельного палива, синтезованого в ІБОНХ НАН України, на енергоекологічні характеристики дизельного двигуна.

Програмою досліджень передбачалось отримання регульовальних характеристик (для визначення оптимального установчого кута випередження впорскування), зовнішніх швидкісних, навантажувальних характеристик за фіксованих частот обертання колінчастого вала (1200; 1400; 1600 хв⁻¹) та характеристик холостого ходу. Такий набір характеристик охоплює більшу частину поля найбільш характерних експлуатаційних режимів роботи двигуна, що дозволяє отримати достовірні інтегральні екологічні показники. Порівняльні дослідження проводились для шести видів сумішевого палива з об'ємною часткою біопалива від 0 до 100 % з інтервалом 20 %.

Результати експериментальних досліджень

Відповідно до програми порівняльних експериментальних досліджень показників роботи двигуна Д21А з використанням стандартного

нафтового палива (ДСТУ 4840:2007) та сумішевого (нафтове + біологічне) різного складу перед зняттям зовнішніх швидкісних, навантажувальних та характеристик холостого ходу було оптимізовано кут випередження впорскування палива в циліндр двигуна (Θ). Завдання оптимізації полягало у досягненні максимального значення ефективної потужності за частоти обертання колінчастого вала $n = 1600 \text{ хв}^{-1}$. Як показали експериментальні дослідження, оптимальне значення кута Θ склало 22 градуси повороту колінчастого вала до верхньої мертвої точки (ВМТ), як для стандартного нафтового палива, так і для сумішевих палив, включаючи й чисто біологічне паливо без вмісту нафтової складової. Така відповідність пояснюється ідентичністю цетанового числа біопалива (близько 51) та дизельного палива підвищеної якості.

Після оптимізації для кожного виду сумішевого палива, в тому числі й за величини біодобавки, що дорівнює нулю (100 % нафтового палива), знімалась серія означених вище характеристик.

Як впливає з наведених на рис. 1 зовнішніх швидкісних характеристик двигуна Д21А, за збільшення об'ємної частки біологічної складової ($v_{б.п.}$) у сумішевому паливі спостерігається зменшення ефективної потужності (N_e) та крутного моменту (M_k), а також зростання витрати палива (G_p). Змінення зазначених трьох показників відбувається з причини зниження енергонаповнення циліндрів двигуна, що працює на сумішевому паливі за достатньо близьких значень величин щільності палив ($\rho_{д.п.}$ та $\rho_{б.п.}$), а також стехіометричних коефіцієнтів ($L_{о.д.п.}$ та $L_{о.б.п.}$), але суттєво меншого значення теплоти згоряння біопалива ($Q_{н.б.п.}$) у порівнянні з відповідним показником ($Q_{н.д.п.}$) стандартного нафтового палива.

Зниження ефективності процесу згоряння, тобто погіршення ефективного коефіцієнта корисної дії η_e , зі збільшенням $v_{б.п.}$ ймовірніше за все пояснюється більш низькою швидкістю згоряння біопаливоповітряної суміші у порівнянні зі швидкістю згоряння суміші нафтового палива з повітрям за рівності цетанових чисел та кута Θ . Між тим погіршення ефективного ККД не є суттєвим, а для сумішевих палив із вмістом біологічної складової 40 та 60 % зниження ККД майже відсутнє.

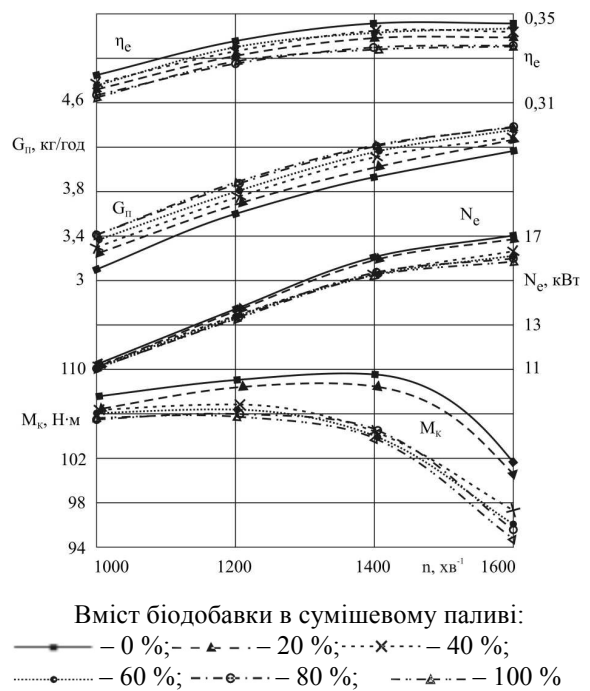


Рис. 1. Зовнішні швидкісні характеристики двигуна Д21А

На користь версії про низьку швидкість згоряння біопаливоповітряної суміші говорить також те, що вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах зменшується зі зростанням $v_{б.п.}$ при роботі двигуна за зовнішніми швидкісними характеристиками (рис. 2).

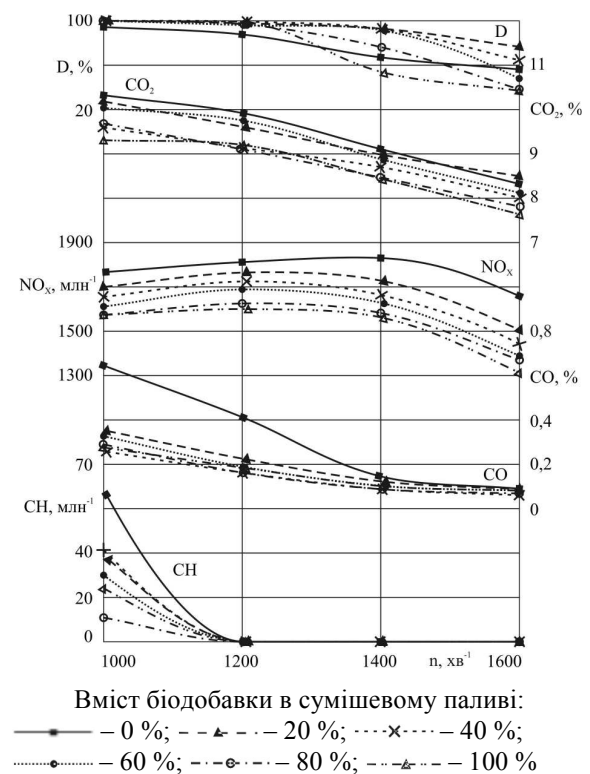


Рис. 2. Екологічні показники двигуна Д21А при роботі за зовнішніми швидкісними характеристиками

На цьому ж рисунку наведено й інші екологічні показники двигуна. Так, за збільшення частки біопалива в паливній суміші спостерігається певне зростання димності відпрацьованих газів, що пояснюється достатньо високою якістю придбаного нафтового палива, яке відповідає стандарту Євро IV. З причини більш низького вмісту вуглецю в біопаливі, ніж в нафтовому, спостерігається зниження вмісту діоксиду вуглецю у відпрацьованих газах. У свою чергу про більш повне згоряння сумішевих палив свідчить зниження емісії оксиду вуглецю та вуглеводнів, що не згоріли.

Розглядаючи підсумки експериментальних досліджень, інформацію про енергоекологічні характеристики дизеля можна продемонструвати двома ілюстраціями. На одній з них (рис. 3) наведено максимальні значення потужнісних та економічних показників двигуна Д21А для сумішевих палив різноманітного складу. Про зменшення ефективної потужності та крутного моменту (6 та 4 % відповідно) зі збільшенням об'ємної частини біопалива у суміші відзначалось вище. Необхідно лише

додати, що максимальне значення крутного моменту при роботі двигуна на сумішевому паливі зміщується в зону більш низьких значень частоти обертання колінчастого вала (рис. 1), що позитивно впливає на динаміку транспортного засобу. Потрібно також відзначити, що максимальні значення ефективного ККД, наведені на рис. 3, отримані при роботі двигуна за навантажувальною характеристикою. При цьому різниця у значенні максимального ефективного ККД для дизельного та сумішевих палив є ще менш помітною (не більше 6 %), ніж зменшення ефективного ККД зі зростанням частки біологічної складової у сумішевому паливі при роботі за зовнішньою характеристикою.

Другою підсумковою ілюстрацією є рис. 4, на якому наведено емісію діоксиду вуглецю, токсичних речовин та димність відпрацьованих газів, оцінені шляхом усереднення за цикл випробувань, до якого входять робота дизеля за зовнішньою швидкісною характеристикою, трьома навантажувальними та характеристиками холостого ходу для кожного виду сумішевого палива.

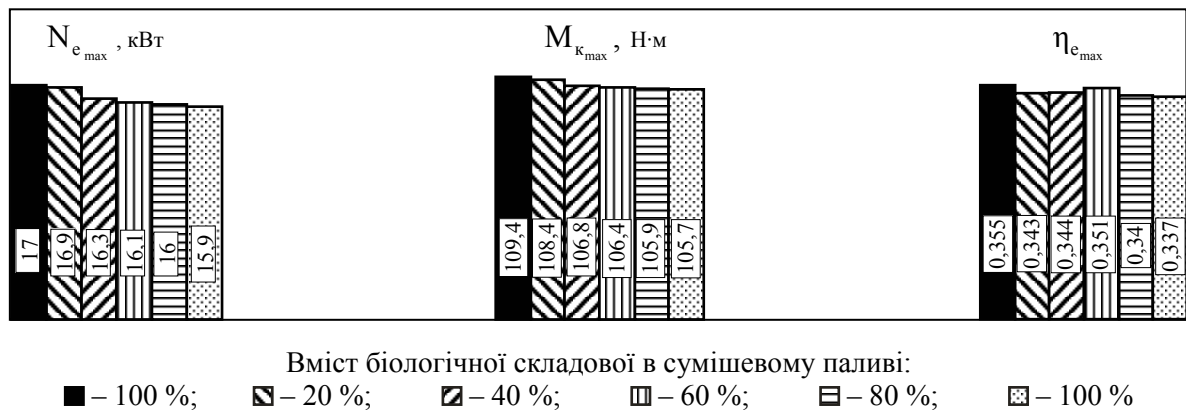


Рис. 3. Максимальні значення потужнісних та економічних показників дизеля

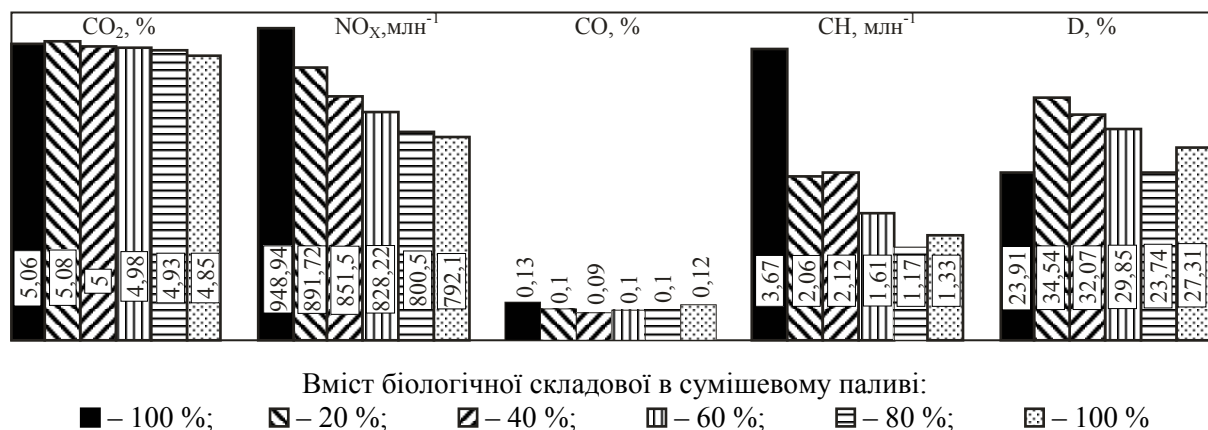


Рис. 4. Середні значення викидів діоксиду вуглецю, токсичних компонентів та димності відпрацьованих газів за цикл випробувань дизеля

З наведеної на рис. 4 графічної інформації видно, що при роботі дизеля на сумішевих паливах спостерігається незначне зменшення рівня викидів діоксиду та оксиду вуглецю (CO_2 , CO), а також зменшення рівня викидів оксидів азоту (NO_x), яке досягає 15 % при роботі на 100 % біопалива.

Задовільну якість протікання процесу в камері згоряння дизеля, що працює на сумішевих паливах, демонструє значне зниження рівня викидів вуглеводнів, що не згоріли (CH). За вмісту 80 % біопалива в суміші рівень викидів CH у 3,1 раза є нижчим, ніж при роботі на мінеральному паливі. Димність відпрацьованих газів за названого складу сумішевого палива є такою самою, як димність при роботі на мінеральному паливі, і перевищує останню на 31 % у випадку, коли двигун працює на суміші з 20 % біологічної складової.

Аналіз інформації, яку наведено на рис. 1–4, показує, що зі збільшенням об'ємної частки біологічної складової в сумішевому паливі основні показники роботи дизельного двигуна змінюються достатньо повільно. Екстремум (максимум) спостерігається лише на рис. 3 для максимального ККД ($\eta_{e \max}$), але його не можна вважати визначальним для того, щоб зробити висновок про оптимальний склад сумішевого палива за критерієм η_e .

Висновки

Застосування дизельного палива підвищеної якості (ДСТУ 4840:2007) забезпечило задовільну роботу дизеля на сумішевих паливах (мінеральне + біологічне) без корекції регулювальних настройок паливної системи з незначним погіршенням потужнісних, економічних та показників димності відпрацьованих газів двигуна за покращення екологічних показників, особливо за викидами вуглеводнів та оксидів азоту.

Оптимального складу сумішевого палива за технічними критеріями не встановлено. Для визначення його за економічним критерієм потрібні спеціальні дослідження.

Література

1. Agarwal A.K. Effect of biodiesel utilization of wear of vital parts in compression ignition engine / A.K. Agarwal, J. Bijwe, L.M. Das // Indian Institute of Techlogy, Kanpur, India. Trans. ASME, J.Eng. Cas Turbines and Power. – 2003. – Vol. 125, N2. – P. 604-611.
2. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей: монография / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – М.: Издательский центр ФГОУ ВПО МГАУ. – 2007. – 340 с.: ил., табл. – 300 экз.
3. Левтеров А.М. Экспериментальные исследования моторных качеств смесового биодизельного топлива / А.М. Левтеров, В.Д. Савицкий, Л.И. Левтерова // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. ХНАДУ. – 2011. – Вып. 28. – С. 81–84. – 100 экз. – ISSN 2219-8342.
4. ДСТУ 6081:2009. Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот, олій та жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги. – Введений вперше, чинний від 2010-01-01. – К.: Держстандарт України. – 2010. – 16 с.
5. ДСТУ 7178:2010. Паливо альтернативне. Естери етилові жирних кислот, олій та жирів для дизельних двигунів. Технічні умови та методи контролювання. – Введений вперше, чинний від 2011-07-01. – К.: Держстандарт України. – 2011. – 10 с.
6. Патриляк К.І. Етаноліз ріпакової олії на цеолітних катализаторах широкого спектру кислотності / К.І. Патриляк, Ю.Г. Волошина, М.В. Охріменко, Л.К. Патриляк // Катализ и нефтехимия. – 2009. – № 17. – С. 8–11. – 100 экз.
7. Евро 4 переносится / сост. С. Матусьяк // Автоцентр. – 2012. – № 4 (748). – С. 24.

Рецензент: В.П. Волков, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 29 жовтня 2012 р.