

УДК 504:662.756:621.436

В. Г. Семенов, к. т. н., доц;**І. П. Васильєв**, к. т. н., доц.;**О. О. Петренко**, к. т. н., доц.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ВИХОРОКАМЕРНОГО ДИЗЕЛЯ ПІД ЧАС РОБОТИ НА БІОДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛЬНОМУ УКРАЇНСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Зроблено експериментальне порівняння характеристик біодизельного пального і дизельного пального нафтового походження, економічних і екологічних показників вихорокамерного дизеля під час роботи на біодизельному пальному. Встановлено, що за економічними показниками біодизельне пальне перевищує ефективність дизельного пального. Основним недоліком випробуваних палив рослинного походження є низька температура спалаху, що не відповідає закордонним стандартам на біодизельне пальне. Рекомендовано зменшити вміст метанолу в біодизельному пальному.

Вступ

Зростання цін на пальне нафтового походження стимулює пошук альтернативних палив. До них можна віднести пальне рослинного походження, вироблене з насіння олійних культур.

На сьогодні широке використання знайшло біодизельне пальне, яке може використовуватися в існуючих дизелях. В Україні з'явилася велика кількість виробників такого пального, але через відсутність вітчизняного стандарту на біодизельне пальне виникла проблема його якості. Низькоякісне біодизельне пальне може спричинити порушення роботи двигуна й до скорочення часу нормальної експлуатації. Практичний інтерес має порівняння показників двигуна під час роботи на різному пальному рослинного походження, що дозволить виявити економічну доцільність використання того чи іншого пального.

Постановка проблеми

В Європі як пальне рослинного походження широко використовується біодизельне пальне [1]. Через подорожчання дизельного пального інтенсивно налагоджується виробництво біодизельного пального і в Україні [2]. Зростає інтерес до цих палив в Росії [3].

З огляду на те, що автотракторний парк країн СНД складається в основному з дизельних двигунів, а працездатність цих двигунів визначається технічним станом паливної апаратури, то перехід на пальне рослинного походження з вищою в'язкістю дозволить продовжити строк роботи цих двигунів навіть в умовах позамежного зношування плунжерних пар паливного насоса [4].

Тому в Україні існує проблема одержання високоякісного біодизельного пального, що відповідає характеристикам закордонних стандартів.

Мета досліджень

Звичайно випробування палив рослинного походження проводять на різних двигунах в різних режимах з використанням різної вимірювальної апаратури. Це заважає об'єктивному порівнянню характеристик цих палив.

Тому метою дослідження було порівняння характеристик біодизельного пального різних українських виробників, а також екологічних і економічних показників дизеля в одному випробувальному циклі під час роботи на дизельному пальному, біодизельному пальному і на суміші соєвої олії (СО) з дизельним паливом у співвідношенні 30:70. При цьому для останніх випробувань використовувалась соєва олія, що слугувала сировиною для одержання біодизельного пального.

Експериментальна установка

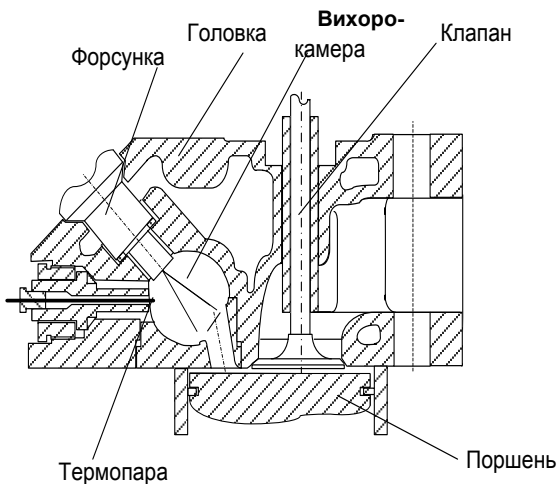


Рис. 1. Схема камери згорання дизеля Ч 8,5/11

Випробування всіх палив проводилися на вихорокамерному дизельному двигуні 2Ч8,5/11 зі штифтовим розпилювачем в одному випробувальному циклі, при переводі на роботу на одному циліндрі (рис. 1).

З огляду на те, що в більшості випадків двигуни працюють не в номінальному режимі, то для випробувань був обраний частковий режим.

Випробувальний стенд складається з дизель-генератора, навантажувального пристрою, впускної системи із відстійною ємністю й лічильником повітря РГ-40, пристрою для вимірювання витрати пального АІР-50, водяної системи з автономним приводом водяного насоса й впускної системи. Температура відпрацьованих газів у впускному патрубку $T_{вг}$ і у вихоровій камері згорання $T_{кз}$ замірялася хромель-копелевими термопарами, частота обертання колінчастого вала двигуна — штатним

тахометром і дублювалися лічильником-частотоміром Ф5080.

Під час випробувань фіксувалися такі параметри двигуна: частота обертання колінчастого вала двигуна 1000 об/хв, ефективна потужність 1,94 кВт, температура відпрацьованих газів у вихоровій камері згорання, масла у картері двигуна, води до й після двигуна, витрати повітря й пального, вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту NO_x , димність і оксиди вуглецю CO .

Оксиди азоту (сумарні) визначалися фотокалориметричним методом за реакцією NO_3^- -іона із сульфосаліціловою кислотою, концентрація CO — на газовому хроматографі марки «Цвет-110» шляхом метанування CO й наступне визначення на полум'яно-іонізаційному детекторі, димність N — на вимірнику димності стендовому ИДС-3С, що представляє собою мікропроцесорний прилад, який забезпечує автоматичне калібрування й настроювання. Результат вимірювання надається у вигляді середнього арифметичного значення, отриманого за 20-ти поточними значеннями димності, обмірюваним за цикл виміру (20 с). Прилад допущений до застосування в Україні відповідно до сертифіката № UA-MI/1p-678-99.

Результати випробувань піддавалися статистичному обробленню і оцінюванню відмінностей з імовірністю 0,95.

Визначалися характеристики палив: густина за допомогою денсиметра із ціною розподілу $0,001 \text{ г/см}^3$ (ГОСТ 3900-85), кінематична в'язкість на віскозиметрі ВПЖ-2 (ДСТУ 33-2003, ІСО 3104-94), температура спалаху в закритому тиглі (ГОСТ 6356-87).

Властивості палив

Випробовувалось біодизельне пальне таких виробників:

— ННЦ «Інститут механізації й електрифікації сільського господарства», Київська обл., с. м. т. Глеваха;

— завод з виготовлення біодизельного пального, м. Херсон;

— НП «ЛК Експорт Імпорт», Солоніцевка, м. Харків;

— Агрофірма «Зоря», Луганська обл., Белокуракинський р-н.;

— НП «Хімпоставщик», Луганська обл., м. Северодонецьк;

— ТОВ «Біодизель-Луганск».

Це були метилові ефіри соняшникової (МЕПМ), ріпакової (МЕРМ) і соєвої (МЕСМ) олій і суміш соєвої олії з дизельним паливом у співвідношенні 30:70 об. % ($CO:ДП-30:70$). У таблиці 1 показані характеристики пального.

Характеристики пального

№	Пальне	Густина ρ_{20} , кг/м ³	В'язкість ν_{20} , мм ² /с	Температура спалаху в закритому тиглі, °С
1	ДП «Л»	844	5,3	78
2	МЕСМ-1	886	7,9	173
3	МЕСМ-2	882	6,9	33
4	МЕРМ	881	6,4	36
5	МЕПМ-1	885	8	29
6	МЕПМ-2	888	9,6	60
7	МЕПМ-3	891	11,2	40
8	СО:ДП-30:70	862	9,5	84

Аналіз характеристик біодизельного пального за температурою спалаху в закритому тиглі свідчить про те, що тільки одне біодизельне пальне задовольняє цій вимозі (за стандартом ця величина повинна перевищувати 120 °С).

Згідно стандарту України щільність палив визначається при температурі 20 °С, за стандартом EN 14214 — при температурі 15 °С, що вимагає коректування показань [5].

Результати випробувань

Основна мета — одержання біодизельного пального високої якості. Таким критерієм можна вважати ККД двигуна під час роботи на відповідному біодизельному пальному. Чим краща якість, тим вище ККД. За кордоном використовується біодизельне пальне, що відповідає стандарту, і результати його випробувань близькі до величини, до яких необхідно прагнути. Так у роботі [1] використання біодизельного пального із соєвої олії обумовило поліпшення ККД дизеля на 6,5 %. У роботі [6] ця величина при випробуваннях двигуна F2L511 (2Ч10/10,5) на біодизельному пальному з ріпакової олії склала 4,1 %.

У міру наближення ККД вітчизняних біодизельного пального до цього значення можливо судити про їхню досконалість.

Результати випробувань наведені в табл. 2. Нижча теплота згоряння приймалася для біодизельного пального, рослинної олії й дизельного пального, відповідно, 37200, 37000, 42700 кДж/кг. При цьому приділялася велика увага статистичній обробці результатів з імовірністю 0,95, що дозволяє об'єктивно порівняти показники біодизельного пального.

Таблиця 2

Результати порівняльних випробувань палив відносно ДП «Л» з оцінкою відмінностей з імовірністю 0,95

ДП «Л»	МЕСМ-1	ВІДМІН-НІСТЬ, %	З ІМОВІР-НІСТЮ 0,95	МЕСМ-2	ВІДМІН-НІСТЬ, %	З ІМОВІР-НІСТЮ 0,95	МЕРМ	ВІДМІН-НІСТЬ, %	З ІМОВІР-НІСТЮ 0,95	СО:ДП-30:70	ВІДМІН-НІСТЬ, %	З ІМОВІР-НІСТЮ 0,95
ККД												
0,238	0,246	-3,36	є	0,250	-5,0	є	0,241	-1,3	немає	0,245	-2,9	немає
Т _{вг} , °С ^c												
289	300	-3,8	є	294	-1,7	немає	309	-6,9	є	304	-5,2	є
Т _{кз} , °c												
637	672	-5,5	є	611	4,1	є	622	2,4	немає	635	0,3	немає
Коефіцієнт надлишку повітря												
1,97	2,021	-2,6	є	2,056	-4,4	є	1,991	-1,1	немає	2,02	-2,5	немає
NO _x , чнм												
892	1059	-18,7	є	917	-2,8	немає	917	-2,8	немає	854	4,3	немає
N, %												
7,1	6,3	10,6	немає	5,5	22,7	є	7,24	-2,4	немає	3,2	54,8	є
CO, чнм												
176	184	-4,5	—	129	26,7	—	144	18,2	—	79	55,1	

Примітка. «—» порівняння не проводилось

Таблиця 3

Результати порівняльних випробувань МЕРМ відносно ДП «Л» з оцінкою відмінностей з імовірністю 0,95

ДП «Л»	МЕРМ-1	Відмінність, %	З імовірністю 0,95	МЕРМ-2	Відмінність, %	З імовірністю 0,95	МЕРМ-3	Відмінність, %	З імовірністю 0,95
КПД									
0,238	0,229	3,8	є	0,238	0	немає	0,227	4,6	є
Тог, ос									
289	291	-0,7	немає	296	-2,4	є	300	-3,8	є
Ткс, ос									
637	601	5,7	є	554	13	є	598	6,1	є
Коефіцієнт надлишку повітря									
1,97	1,87	4,9	є	1,97	0	немає	1,88	4,6	є
NOx, чнм									
892	793	11,1	є	886	0,7	немає	1085	-21,6	є
N, %									
7,1	6,9	2,9	немає	7,1	-0,4	немає	8,7	-23,0	є
CO, чнм									
176	161	8,5	—	155	11,9	—	394	-124	—

Кращими за ефективністю згоряння виявилось пальне № 3 (МЕСМ-2), № 2 (МЕСМ-1) і № 8 (СО:ДП-30:70). Становило інтерес порівняння показників двигуна під час роботи на МЕСМ різних виробництв (табл. 4).

Таблиця 4

Результати порівняльних випробувань МЕСМ-1 і МЕСМ-2

МЕСМ-1	МЕСМ-2	ВІДМІННІСТЬ, %	З ІМОВІРНІСТЮ 0,95
КПД			
0,246	0,250	-1,6	є
Твг, ос			
300	294	2,0	немає
Ткз, ос			
672	611	9,1	є
Коефіцієнт надлишку повітря			
2,021	2,056	-1,7	немає
NOx, чнм			
1059	917	13,4	є
N, %			
6,3	5,5	12,7	немає
CO, чнм			
184	129	29,9	

За ККД МЕСМ-2 з імовірністю 0,95 краще, ніж МЕСМ-1, але при ймовірності 0,99 дана відмінність несуттєва. Також слід відзначити підвищення температури в камері згоряння під час роботи на МЕСМ-1, що, імовірно, з'явилося причиною підвищеного виділення оксидів азоту на 13,4%. Відмінності в показаннях димності є несуттєвими. Дані відмінності можна пояснити технологіями отримання біодизеля або властивостями олій. Тому надалі для об'єктивного порівняння технологій необхідно використати однаковою сировину — олію.

Порівняння показників двигуна під час роботи на МЕРМ різних виробництв наведено в табл. 5.

Результати порівняльних випробувань МЕРМ-1 і МЕРМ-3

МЕРМ-1	МЕРМ-3	Відмінність, %	З імовірністю 0,95
КПД			
0,229	0,227	0,9	немає
Т _{вг} , 0С			
291	300	-3,1	є
Т _{кз} , 0С			
601	598	0,5	немає
Коефіцієнт надлишку повітря			
1,87	1,88	0,32	немає
NO _x , чнм			
793	1085	-36,8	є
N, %			
6,9	8,7	-26,7	є
СО, чнм			
161	394	-145	

Дані біодизелі не відрізняються за економічними показниками, але в МЕРМ-3 відмічено підвищений викид оксидів азоту й димності.

На даний момент часу використання того або іншого біодизеля визначається економічною доцільністю, наприклад, вартістю однієї кВт · год. Для розрахунків бралися палива наступної вартості на 2006 рік: ДП — 3,65 грн/л (4,32 грн/кг); СО — 3,49 грн/кг (3,2 грн/л); МЕРМ-3 — 3,5 грн/л (3,97 грн/кг); інше біодизельне пальне — 3,3 грн/л. Результати розрахунків зведені в табл. 6.

Таблиця 6

Зміна вартості однієї кВт·год для різних палив по відношенню до вартості однієї кВт·год під час роботи двигуна на ДП

Пальне	Витрата пального при потужності двигуна 2 кВт, кг/год	ККД двигуна, %	Вартість пального, грн/кг	Вартість 1 кВт · год, грн	Зміна вартості 1 кВт · год, %
ДП «Л»	0,686	0,238	4,32	1,482	
МЕСМ-1	0,763	0,246	3,72	1,419	+4,2
МЕСМ-2	0,751	0,250	3,74	1,404	+5,2
МЕРМ	0,779	0,241	3,745	1,459	+1,56
МЕРМ-1	0,822	0,229	3,72	1,529	-3,18
МЕРМ-2	0,788	0,238	3,73	1,470	+0,82
МЕРМ-3	0,828	0,227	3,97	1,644	-10,92
СО:ДП-30:70	0,698	0,245	3,984	1,39	+6,16

З таблиці 6 випливає, що за економічним критерієм найвигідніше використовувати біодизельне пальне МЕСМ-2 та МЕСМ-1. Важливим є не тільки ККД двигуна, але й вартість біодизеля. Високий ККД двигуна може бути знівельованим великою вартістю біодизеля. Це вимагає розробки заходів зі зниження вартості біодизеля: вирощування власних олійних культур, відпрацювання технології тощо. Визначальне значення має вартість дизельного пального. Використання суміші СО:ДП-30:70 є вигідним, але вимагає обліку витрат на переустаткування двигуна для роботи на цьому пальному.

У таблиці 7 наведено порівняння характеристик випробуваних ДП, МЕСМ-1, МЕСМ-2 і стандарту на біодизельне пальне EN 14214. При цьому враховувалися значення густини й в'язкості за різних температур.

Фізико-хімічні характеристики пального

Характеристики	Дизельне пальне за ДСТУ 3868-99	МЕСМ-1	МЕСМ-2	Біодизельне пальне EN 14214 (Європа)
Густина ρ_{20} , кг/м ³	844	884	—	—
Густина ρ_{15} , кг/м ³	—	887	884	860...900
В'язкість ν_{20} , мм ² /с	5,3	7,3	—	—
В'язкість ν_{40} , мм ² /с	—	4,73	4,46	3,5...5
Температура спалаху у закритому тиглі, °С	78	173	44	120 min
Нижча теплота згорання, кДж/кг	42700	37200	—	—
Цетанове число	45	51	—	51 min
Йодне число, г I ₂ /100 г	6	129,5	—	120 max
Коксівність 10 % залишку, мас. %	0,3 max	—	4,96	—
Вміст води, мг/кг	немає	300	сліди	500 max
Випробування на мідній пластинці	—	—	витримує	—
Зольність, мас. %	—	—	0,01	0,02 max
Вміст фосфору, мг/кг	—	9	—	10 max
Кислотне число, мг КОН/г	—	—	0,041	0,5 max
Кислотність, мг КОН/100 см ³	5	—	3,65	—
Концентрація фактичних смол, мг/100 см ³	—	—	6608	—
Коефіцієнт фільтрованості	3	—	1,6	—
Температура помутніння, °С	-12	-3	—	—
Температура застигання, °С	-24	-5	—	—

Автори статті пропонують виробникам біодизельного пального проведення випробувань на порівняння з дизельним паливом за запропонованою методикою.

Для одержання сертифіката європейського зразка на відповідність певного біодизельного пального вимогам EN 14214 пропонується звернутися на фірму ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH (Германія, e-meil: juergen.bernath@asg-analytik.de).

Висновки

Бажано українським виробникам поки орієнтуватися на європейський стандарт EN 14214, що дозволить не тільки використати якісне біодизельне пальне, але й у перспективі забезпечити його експорт.

У цей час біодизельне пальне, що виробляється в Україні, не відповідає цьому стандарту. Так, за температурою спалаху, вимогам до біодизельного пального задовольняє тільки один зразок, що пояснюється низьким вмістом метанолу. З огляду на те, що в стандарті обумовлюються 24 характеристики, то проблема визначення й забезпечення цих вимог постає дуже гостро.

За непрямую оцінкою з шести зразків біодизельного пального тільки два за ККД двигуна наближаються до показників закордонного біодизеля з соєвої олії. Біодизельне пальне з соняшникової олії поступається їм за економічністю. Краще біодизельне пальне із соняшникової олії досягає економічності, відповідної дизельному паливу.

При використанні біодизеля необхідно орієнтуватися на економічний критерій, наприклад, на вартість однієї кВт·год. У іншому випадку використання біодизеля буде економічно не вигідним у порівнянні з дизельним паливом.

Результати випробувань свідчать про те, що двигуни можуть працювати на всіх описаних зразках біодизельного пального, але при цьому необхідно оцінити їхній вплив на ресурс двигуна.

Рекомендації

Можна припустити, що деякі відмінності у показниках дизеля викликані різними умовами ви-

рощування й сортом олійних культур, складом олій, технологіями одержання біодизельного пального. Тому бажано визначити показники двигуна під час роботи на біодизельному пальному, виготовленому з одної олії, за різними технологіями і з різних олій за однією технологією.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Werner Korbitz. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe // SAE Techn. Pap. Ser. — 1995. — № 952768. — P. 249—254.
2. Марченко А. П., Минак А. Ф., Семенов В. Г., Линьков О. Ю., Шпаковский В. В., Обозный С. В. Расчетно-экспериментальные исследования по оценке влияния подогрева альтернативных топлив на показатели работы дизеля // Вестник Национального технического университета «ХПИ», Двигатели внутреннего сгорания, Харьков: 2005. — № 1. — С. 8—17.
3. Матиевский Д. Д., Кулманаков С. П., Лебедев С. В., Шашев А. В. Применение топлива на основе рапсового масла в дизелях // Ползуновский вестник. Барнаул (Россия) — 2006. — № 4. — С. 118—127.
4. Bannikov M. G., Tyrlovoy S. I., Vasilev I. P., Chattha A. J. Investigation of characteristics of a fuel injection pump of a diesel engine fuelled with viscous vegetable oil-diesel oil blends // Proc. Instn. Mech. Engrs. Part D. Journal of Automobile Engineering, 2006. — Vol. 270. — № 6. — P. 787—792.
5. EN 14214:2003. Топливо для автомобилей. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Требования и методы анализа. — Европейский Комитет по стандартизации. — 13 с.
6. Смайлис В., Сенчила В., Берешене К. Моторные испытания РМЭ на высокооборотном дизеле воздушного охлаждения // Двигателестроение. — 2005. — № 4 (222). — С. 45—49.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом Всеукраїнської науково-технічної конференції «Альтернативні екологічно чисті та відновлювальні джерела енергії» (30.05—1.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.06.07
Рекомендована до друку 02.07.07

Семенов Володимир Григорович — доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Васильєв Ігор Павлович — доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Луганськ;

Петренко Олександр Омелянович — доцент кафедри автомобілів й тракторів.

Луганський національний аграрний університет