

УДК 629.43

В.І. ЗАХАРЧУК, канд. техн. наук, доцент,
В.В. ТКАЧУК, канд. техн. наук, старший викладач, **О.В. ЗАХАРЧУК**, асистент
Луцький національний технічний університет (ЛНТУ), м. Луцьк

ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ БІОПАЛИВ ДЛЯ ДИЗЕЛІВ

Описано технологію переобладнання дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням та результати випробувань на природному газі двигуна, створеного за цією технологією. Проаналізовано екологічні показники біогазу та нового біодизельного палива – ізопропілового ефіру ріпакової олії.

Ключові слова: дизель, екологічні показники, біогаз, біодизельне паливо, ізопропіловий ефір, ріпакова олія.

На сьогодні найбільш поширеними джерелами механічної енергії для транспортних засобів є двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ). У багатьох містах України викиди автотранспорту становлять понад 80 % від загальної кількості викидів. Підвищений рівень забруднення атмосферного повітря повсюдно спостерігається вздовж автомагістралей, де останніми роками концентрації забруднюючих речовин перевищили гранично допустимі рівні у 5–7 разів. Застосування на бензинових двигунах трикомпонентних нейтралізаторів забезпечує значне зменшення шкідливих викидів легковими автомобілями, але викиди вантажних автомобілів і автобусів, споряджених дизелями, можуть стати важливою проблемою, особливо для великих міст. Одним із напрямків покращення екологічних показників дизелів без погіршення їх енергетичних і економічних характеристик та збереження нафтових ре-

урсів є застосування в дизелях палив біологічного походження, які відносяться до постійно поновлюваних в природі видів енергоносіїв.

До палив біологічного походження належать спирт (етанол), біогаз (біометан), рослинні олії та палива на їх основі. Застосування спиртів у чистому вигляді в дизелях викликає значні проблеми, що пов'язані з поганим займанням через низьке цетанове число, а також погані змащувальні властивості. Нечисленні дослідження токсичності дизелів при використанні етанолу показали, що сумарна токсичність відпрацьованих газів така ж, як і при використанні дизельного палива.

Застосування біогазу як моторного палива та джерела енергії в інших галузях вирішує одночасно ряд енергетичних і екологічних проблем. Наприклад, у результаті переробки на біогаз відходів сільськогосподарського ви-



робництва можна додатково отримати до 10 % енергії, що виробляється у світі.

Біогаз містить значну кількість інертних складових (в першу чергу – вуглекислого газу), що призводить до зменшення теплоти згорання біогазу (у порівнянні з природним газом) та до погіршення показників двигуна, зокрема до зменшення потужності. За іншими фізико-хімічними показниками біогаз достатньо близький до природного газу (табл. 1).

Таблиця 1 – Фізико-хімічні властивості біогазу та метану

Показники	Вид палива	
	Біогаз	метан
Масова теплота згорання, кДж/кг	9800–30100	49900
Об'ємна теплота згорання, мДж/м ³	24–25	34–36
Кількість повітря, потрібна для згорання 1 кг палива, кг/кг	3,5–10,2	17,2
Границя займання суміші по а:		
• багатої	0,66–0,7	0,7
• бідої	1,80–1,95	2,10
Максимальна швидкість згорання, м/с	0,20–0,37	0,40
Октанове число	115–130	110

Для роботи на біогазі дизель необхідно конвертувати у газовий двигун. Переобладнання дизелів можливе за двома напрямами – газодизельному і газовому. Застосування газодизельного процесу на даний час значно зменшено за таких причин:

- дизельне паливо не повністю замінюються газом, тому екологічні показники газодизеля не набагато кращі, ніж у дизеля;
- експлуатаційна надійність газодизеля є нижчою;
- на двигуні передбачається встановлення двох систем живлення – газом і дизельним паливом.

Більш перспективним є переобладнання дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням. Таке переобладнання виконано в Луцькому національному технічному університеті (ЛНТУ). Відомо, що одним із способів підвищення потужності і покращення паливної економічності двигунів внутрішнього згорання з іскровим запалюванням є збільшення ступеня стискання. Оскільки у газових палив досягається високе октанове число, що перевищує 100 одиниць, то з виконаного аналізу термічного коефіцієнта корисної дії і середнього тиску циклу Отто зроблено висновок, що у даному циклі доцільно здійснювати робочий процес реального двигуна зі ступенями стиску, що не перевищують $\varepsilon = 13$ [1]. Другим етапом досліджень стало переобладнання дизеля Д-240 в газовий двигун: замість форсунок встановлено іскрові свічки запалювання, в приводі паливного насоса високого тиску – переривач-розподільник (рис. 1), в якому змонтовано безконтактне електронне запалюван-

ня чотирициліндрового бензинового двигуна з датчиком Хола; на впускному колекторі власного виготовлення – газоповітриний змішувач марки СГ-250; газові редуктори високого і низького тиску та інше газове обладнання; ступінь стиску газового двигуна зменшено з 16 до 12, тобто дизель конвертували в газовий двигун із зовнішнім сумішоутворенням та іскровим запалюванням. Переобладнання дизеля в газовий двигун здійснювалось з можливістю зворотної конвертації в дизель.



Рисунок 1 – Переобладнаний з дизеля Д-240 газовий двигун на випробувальному стенді

Проведено випробування конвертованого газово-дизельного двигуна на природному газі, які включали моторні дослідження на електричному гальмівному стенді. Газовий аналіз відпрацьованих газів здійснювався за допомогою газоаналізуючої апаратури: оксид вуглецю – 121ФА, вуглеводні – 123ФА 01, оксиди азоту – 344 ХЛ 011. На початку випробувань був визначений і встановлений оптимальний кут випередження запалювання. Газовий двигун стійко працював в усьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів. Визначено серію навантажувальних характеристик із заміром токсичності відпрацьованих газів (ВГ). Експериментальні дослідження переобладнаного газового двигуна підтвердили його працевздатність в усьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів: максимальна потужність при коефіцієнти надміру повітря а, близькому до 1, є такою, як і у дизеля, а еквівалентна питома ефективна витрата палива на 20–24 % вищою, ніж у дизеля, оскільки газовий двигун працює на більш багатьох горючих сумішах. Як видно з навантажувальних характеристик, рівень викидів оксиду вуглецю СО у газового двигуна більший, ніж у дизеля на холосному ході та малих навантаженнях, і менший – при максимальному навантаженні. Така ж закономірність характерна і для викидів вуглеводнів С_m Н_n, в яких переважну

частину становить незгорілий метан CH_4 . Викиди NO_x у дизеля менші на середніх навантаженнях, але більші на максимальних. За результатами порівняльної оцінки екологічних показників переобладнаного газового двигуна і базового дизеля за 13-режимним циклом ESC встановлено, що сумарна токсичність, зведена до СО газового двигуна, у 1,83 раза менша, ніж у дизеля, через відсутність у ВГ газового двигуна твердих часток та нижчі питомі викиди C_mH_n і NO_x . Шум при роботі газового двигуна, за експертною оцінкою, значно менший, ніж у дизеля.

Оскільки біогаз на 60 і більше відсотків складається з метану, а решту становить вуглекислий газ, екологічні показники газового двигуна, який переобладнаний з дизеля, будуть подібними до показників двигуна при роботі на природному газі. Підвищити енергетичну цінність біогазу можна його очищеннем від вуглекислого газу.

Традиційне біодизельне паливо виробляється із застосуванням метилового спирту, який є високотоксичним та небезпечним для здоров'я людей. Це суттєвий негативний фактор з точки зору екологічної безпеки при виробництві біопалива (особливо в умовах сільськогосподарського виробництва) та його використанні, адже через ефекти деструкції можливе виділення з біопалива метилового спирту, особливо при відхиленні від нормальної роботи паливної системи двигуна. Також недоліком метилового ефіру є те, що він – досить агресивна речовина по відношенню до матеріалів деталей двигуна (метали, гума). Тому при його застосуванні вимагається заміна паливних баків, паливних шлангів та прокладок на такі, що виготовлені з матеріалу, стійкого до метилового ефіру ріпакової олії (MEPO), а також частіша заміна моторного масла, що створює значні труднощі для користувачів [2].

Таблиця 2 – Порівняльна оцінка показників експлуатаційних властивостей нового біодизельного палива, еталону (MEPO) та дизельного палива

Найменування показників	Метод випроб.	Норми за ДСТУ 3868-99	Експериментальні дані		
			Паливо дизельне	IEPO	MEPO (еталон)
Цетанове число	ДСТУ 3868-99	Не нижче 45	47	49	48
Густина, г/см ³	ГОСТ 3900-99	Не більше 0,860	0,84	0,88	0,88
• при 20 °C					
• при 15 °C					
Фракційний склад з колби Енглера:	ГОСТ 2177-99				
• 50% вик., °C		280±1	274	260	250
• 96% вик., °C		370±2	363	322	367
В'язкість кінематична при 40 °C, мм ² /с	ДСТУ 33-00	3,0-6,0 при 20 °C	5,4	16,1	5,6
Масова частка сірки, %	ГОСТ 13380-81	Не більше 0,5%	0,54	0,009	0,007
Кислотність, мг КОН на 100 см ³ палива	ГОСТ 5985-79	Не більше 5,0	2,7	Відс.	Відс.
Температура застигання, °C	ГОСТ 20287-91	Не вище -10	-14	-22	-12
Зольність, %	ГОСТ 1461-75	Не більше 0,01	0,002	0,012	0,011



Кислотність досліджуваного біопалива дуже низька, тобто паливо не є корозійно активним. Зрозуміло, що всі кислі сполуки нейтралізуються використуваним при синтезі лужним катализатором.

Зольність IEPO, як і МЕРО, в межах норми, що свідчить про відсутність у біодизельних паливах мінеральної золи. Палива органічного походження згорають без залишку.

Були проведені стендові випробування дизеля Д-240 при його роботі на IEPO та нафтовому дизелю, в результаті яких отримані навантажувальні характеристики: потужність дизеля при роботі на цих паливах практично однакова; у випадку роботи дизеля на IEPO має місце збільшення питомої витрати г. палива у межах 4–6 % в результаті меншої теплоти згорання та збільшення концентрації оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах через більший вміст кисню в біопаливі. Відхилення величин решти порівнюваних показників (наприклад, димності відпрацьованих газів) знаходиться у межах можливої точності їх вимірювання. Як продукт переробки рослинної сировини біодизельне паливо не містить канцерогенних речовин – поліциклічних ароматичних вуглеводнів та особливо бензапірену. Дані про вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизеля Д-240 при його роботі на різних паливах з частотою обертання 1500 хв^{-1} та потужністю 35 кВт наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизеля Д-240 при його роботі на нафтовому дизельному паливі та біопаливи

Паливо	Вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах			
	CO, %	C _m H _n , млн^{-1}	NO _x , млн^{-1}	Тверді частинки, %
Нафтове дизельне паливо	0,15	31	1500	60
Біопаливо (IEPO)	0,08	20	1750	54

Біодизельне паливо, і в першу чергу IEPO, є більш безпечним з точки зору екології. Як свідчать досліди, воно при попаданні у воду не спричиняє шкоди живим організмам, крім того, повністю біологічно розкладається мікроорганізмами в ґрунті або у воді протягом 28 днів. Проведені токсикологічні та гігієнічні дослідження IEPO дозволили зробити висновок, що це паливо у цілому належить до 4 (найнижчого) класу небезпеки.

Описана технология переоборудования дизелей в газовые двигатели с искровым зажиганием и результаты испытаний на природном газе двигателя, созданного по этой технологии. Проанализированы экологические свойства биогаза и нового биодизельного топлива – изопропилового эфира рапсового масла.

Оскільки у біодизельному паливі практично не міститься сірки, двигун має майже нульовий рівень викидів SO_2 , що вигідно відрізняє його від дизеля, в якого викиди оксидів сірки наносять суттєву шкоду навколошньому природному середовищу. Це є особливо актуальним для України, тому що у дизельному паливі, яке виробляється на наших нафтопереробних заводах, вміст сірки у декілька разів перевищує допустимі норми. Важливою перевагою двигунів, які працюють на біодизельному паливі, є малі викиди в атмосферу двооксиду вуглецю CO_2 , який сприяє утворенню парникового ефекту на Землі. Це пояснюється тим, що у біодизельному паливі міститься менше вуглецю, ніж у нафтових паливах.

Прогноз подальшого розвитку технології використання біопалива в дизелях, на нашу думку, є сприятливим. Зокрема, екологічно чистим та неагресивним паливом є IEPO – подібний до етилового ефіру ріпакової олії, але значно дешевший за нього.

ВИСНОВКИ

Застосування біопалив дозволить покращити екологічні показники дизельних двигунів. Особливо це стосується биогазу. Переобладнання дизелів міських автобусів у газові двигуни з іскровим запалюванням дозволить покращити екологічну ситуацію у містах. Нове біодизельне паливо IEPO має меншу токсичність та агресивність у порівнянні з нафтовим дизельним паливом та традиційним біодизельним паливом.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Захарчук, В.І. Застосування альтернативних палив в автотракторних дизелях / В.І. Захарчук // Энергосбережение. – 2010. – № 2. – С. 26–28.
2. Девянин, С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – Х. : Новое слово, 2007. – 452 с.
3. Захарчук, В.І. Споживчі властивості нового біодизельного палива / В.І. Захарчук, В.В. Ткачук // Энергосбережение. – 2010. – № 9. – С. 30–32.

Поступила в редакцию 29.12.10

Technology of diesels reconditioning into gas engines with spark ignition is described; results of tests of the engine on natural gas created in accordance with this technology are given. Ecological features of biogas and new biodiesel fuel (isopropyl ether of rape oil) are analyzed.