

УДК 621.436:665.75

ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОПАЛИВА

А.О. Корпач, проф., к.т.н., Національний транспортний університет, м. Київ,
О.О. Левківський, спеціаліст відділу управління автопарками, к.т.н.,
ТОВ «Порше Мобіліті», м. Київ

Анотація. Подано результати розрахунку витрати палива та викидів шкідливих речовин дизелем автомобіля, що працює на біопаливі. Розрахунки виконано для автомобіля, що рухається в режимах міського їздового циклу, враховуючи зміну стану та профілю дорожнього покриття, що характеризуються коефіцієнтом опору коченню і кутом нахилу повздовжнього профілю дороги.

Ключові слова: біопаливо, МЕРО, математична модель, паливна економічність, викиди шкідливих речовин.

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОТОПЛИВА

А.А. Корпач, проф., к.т.н., Национальный транспортный университет, г. Киев,
А.А. Левковский, специалист отдела управления автопарками, к.т.н.,
ООО «Порше Мобилити», г. Киев

Аннотация. Представлены результаты расчета расхода топлива и выбросов вредных веществ автомобильным дизелем, работающим на биотопливе. Расчеты выполнены при движении автомобиля в режимах городского ездового цикла, с учетом изменения состояния и профиля дорожнего покрытия, характеризующихся коэффициентом сопротивления качению и углом наклона продольного профиля дороги.

Ключевые слова: биотопливо, МЕРМ, математическая модель, топливная экономичность, выбросы вредных веществ.

EFFECT OF OPERATING FACTORS ON THE VEHICLE PERFORMANCE WHEN USING BIOFUEL

A. Korpach, Prof., Ph. D. (Eng.), National Transport University, Kyiv,
O. Levkivskyi, Fleet Service Expert, Ph. D. (Eng.),
«Porsche Mobility» I. I. C., Kyiv

Abstract. The results of fuel consumption calculation and pollutant emissions produced by a diesel engine running on biofuel are presented. The calculations were made for the car moving in the urban driving cycle mode given the changing status and the profile of pavement characterized by the gradient coefficient of rolling resistance and the angle of the longitudinal profile of the road are performed.

Key words: biofuel, MERO, mathematical model, fuel economy, pollutant emissions.

Вступ

На сьогодні застосування біопалива в автомобільних двигунах розглядається як один з основних напрямів зниження споживання

палив нафтового походження і покращення екологічних показників. Актуальність цієї задачі зумовлена поступовим виснаженням світових запасів нафти та постійним підвищенням вимог щодо токсичності відпрацьо-

ваних газів автомобільних двигунів, у зв'язку зі значним забрудненням навколишнього середовища шкідливими речовинами та парниковими газами. Таким чином, дослідження, спрямовані на визначення можливостей та ефективності застосування біопалива у двигунах серійних автомобілів, є актуальними, а окремі питання потребують всебічного розгляду.

Аналіз публікацій

Для автомобільних дизелів найбільш перспективним біопаливом вважається МЕРО (метилові ефіри ріпакової олії). Широкому розповсюдженню МЕРО сприяє доступна сировинна база та подібні до дизельного палива (ДП) фізико-хімічні властивості [1].

Ефективність застосування МЕРО в автомобільних дизелях розглянуто в роботах [2, 3]. Виконані дослідження спрямовані на вивчення впливу біопалива на робочий процес автомобільних двигунів. Встановлено можливість використання біопалива у двигунах серійних автомобілів – як у суміші з дизельним паливом, так і в чистому виді.

Порівняльні дослідження, виконані під час роботи автомобільних дизелів на дизельному паливі та МЕРО, свідчать про зміну паливної економічності й токсичних показників відпрацьованих газів при переході з одного палива на інше. Закономірність зміни витрати палива та викидів шкідливих речовин, у свою чергу, залежить від режимів роботи двигуна.

Мета і постановка завдання

Підвищення ефективності застосування біопалива, з точки зору зміни паливної економічності й токсичності відпрацьованих газів автомобільних двигунів, потребує проведення всебічних досліджень в умовах експлуатації. Визначення викидів шкідливих речовин в умовах експлуатації є технічно складною та трудомісткою задачею. Більш доцільно виконати розрахунок витрати палива та викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобіля за допомогою математичної моделі та перевірити адекватність одержаних результатів, виконавши декілька експериментальних заїздів.

Таким чином, метою роботи є визначення, шляхом математичного моделювання, витрати палива та викидів шкідливих речовин ав-

томобілем з дизелем, що працює на МЕРО, враховуючи зміну експлуатаційних факторів.

Методика проведення досліджень

У роботі [4] уточнено математичну модель, що дозволяє визначити зміну експлуатаційних показників вантажного автомобіля з дизелем, що працює на біопаливі, в системі «водій–автомобіль–дорога». Зміну режимів роботи дизеля та відповідну зміну режимів руху автомобіля, що задано операційною картою їздового циклу, описано рядом алгебраїчних та диференціальних рівнянь.

Вхідні дані для математичної моделі одержано за результатами експериментальних стендових досліджень дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241) [5]. Під час стендових досліджень визначено оптимальний кут випередження впорскування палива під час роботи дизеля на МЕРО. За результатами досліджень встановлено, що оптимальний кут випередження впорскування біопалива на 2 град п.к.в. менше, ніж для дизельного палива, і становить 24 град п.к.в. [6]. Подальші розрахунки виконано для дизеля, що працює на біопаливі з кутом випередження впорскування 24 град. п.к.в., в порівнянні з дизелем, що працює на дизельному паливі зі штатним кутом випередження впорскування.

За допомогою навантажувальних характеристик дизеля під час роботи на дизельному паливі 3-0,2-(-25) (ДСТУ 3868-99) та МЕРО (ДСТУ 6081:2009) визначено поліномні залежності, що дозволяють описати зміну витрати палива та викидів шкідливих речовин у широкому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів роботи двигуна.

В умовах експлуатації витрата палива та викиди шкідливих речовин залежать від режиму роботи двигуна, що змінюється залежно від зміни умов експлуатації. Найбільш суттєво на роботу двигуна впливають стан та профіль дорожнього покриття, що характеризуються коефіцієнтом опору коченню (f_0) та кутом нахилу повздовжнього профілю дороги (α).

Комплексне дослідження впливу умов експлуатації на витрату палива та викиди шкідливих речовин дизелем вантажного автомобіля виконано під час руху автомобіля на фрагменті міського їздового циклу для вантажних автомобілів загальною масою понад 3,5 т згідно з ГОСТ 20306-90 (рис. 1).

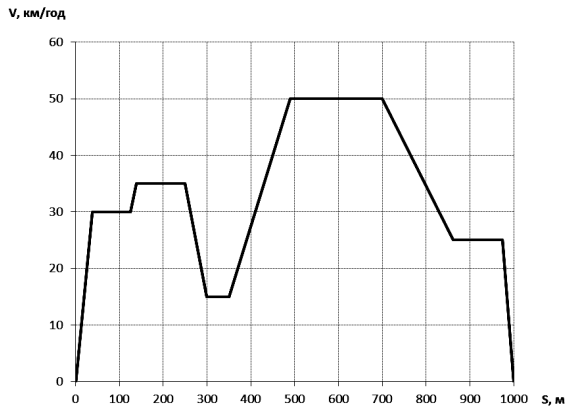


Рис. 1. Фрагмент міського їздового циклу для ДТЗ повною масою понад 3,5 т

За результатами досліджень визначено такі паливно-економічні та екологічні показники:

$G_{\text{пал}}$ – масова витрата палива на 1 км пробігу;

$Q_{\text{пал}}$ – витрата палива в тепловому еквіваленті на 1 км пробігу;

G_{CO} – масові викиди оксиду вуглецю на 1 км пробігу;

G_{CH} – масові викиди вуглеводнів на 1 км пробігу;

G_{NOx} – масові викиди оксидів азоту на 1 км пробігу;

G_{C} – масові викиди сажі на 1 км пробігу;

$G_{\Sigma\text{CO}}$ – сумарні масові викиди, приведені до CO на 1 км пробігу.

Результати розрахунку за зміни коефіцієнта опору коченню

Розрахунки на математичній моделі виконано за зміни коефіцієнта опору коченню в діапазоні значень:

$f_0=0,016$ – якісне асфальтобетонне покриття;

$f_0=0,021$ – асфальтобетонне покриття задовільної якості;

$f_0=0,025$ – гравій;

$f_0=0,032$ – суха ґрунтова дорога;

$f_0=0,040$ – волога ґрунтова дорога.

Результати розрахунку наведено в табл. 1.

Таблиця 1 Результати розрахунку за зміни коефіцієнта опору коченню

f_0	0,016		0,021		0,025		0,032		0,040	
	ДП	МЕРО	ДП	МЕРО	ДП	МЕРО	ДП	МЕРО	ДП	МЕРО
$G_{\text{пал}}$, кг/км	0,131	0,146	0,143	0,160	0,152	0,171	0,169	0,190	0,189	0,214
$Q_{\text{пал}}$, МДж/км	5,576	5,397	6,075	5,909	6,479	6,320	7,200	7,049	8,047	7,919
G_{CO} , г/км	10,888	13,207	11,526	14,051	12,064	14,695	13,160	15,858	15,272	18,074
G_{CH} , г/км	0,074	0,065	0,075	0,066	0,077	0,067	0,082	0,069	0,091	0,074
G_{NOx} , г/км	5,487	5,033	6,261	5,740	6,873	6,312	7,894	7,282	8,928	8,267
G_{C} , г/км	0,494	0,397	0,538	0,427	0,579	0,456	0,665	0,521	0,789	0,620
$G_{\Sigma\text{C}}$, г/км	335,44	299,679	376,75	335,56	410,61	365,567	470,80	419,597	540,23	482,200

Аналіз результатів розрахунку свідчить про зростання витрати біопалива на 46,7 % зі зростанням коефіцієнта опору коченню в заданому діапазоні. Викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами підвищуються таким чином: викиди оксидів вуглецю – на 36,9 %, вуглеводнів – на 13,8 %, оксидів азоту – на 64,3 %, сажі – на 56,3 %. Сумарні масові викиди, приведені до CO, підвищуються на 60,9 %.

У порівнянні з дизельним паливом, масова витрата біопалива в середньому є вищою на 12 %, однак у тепловому еквіваленті витрата біопалива на 2,4 % нижча, ніж витрата дизельного. Викиди основних шкідливих речовин є нижчими при використанні біопалива на: вуглеводнів – на 14 %, оксидів азоту – на 8 %, сажі – на 21 %. Лише викиди оксиду вуглецю на 20 % вищі. Сумарні масові викиди шкідливих речовин, приведені до CO, є

нижчими на 10,8 % при використанні біопалива.

Результати розрахунку за зміни кута нахилу повздожнього профілю дороги

Зміна кута нахилу повздожнього профілю дороги більш значущо впливає на витрату палива та викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільного дизеля. В умовах експлуатації кут нахилу повздожнього профілю дороги може змінюватись у широкому діапазоні.

Відповідно до вимог СНиП 2.05.02-85, технічних характеристик автомобіля та параметрів заданого їздового циклу, для розрахунків обрано кут нахилу повздожнього профілю дороги в діапазоні –20–20 %. Під час розрахунку було взято, що $f_0 = 0,016$.

Результати розрахунку наведено в табл. 2.

Таблиця 2 Результати розрахунку за зміни кута нахилу повздовжнього профілю дороги

α , %	-20		-10		0		10		20	
	ДП	МЕРО	ДП	МЕРО	ДП	МЕРО	ДП	МЕРО	ДП	МЕРО
$G_{\text{паль}}$, кг/км	0,101	0,110	0,120	0,132	0,143	0,160	0,167	0,187	0,192	0,217
$Q_{\text{паль}}$, МДж/км	4,273	4,055	5,085	4,884	6,076	5,909	7,091	6,938	8,145	8,020
G_{CO_2} , г/км	9,169	10,436	10,311	12,321	11,557	14,051	13,011	15,674	15,522	18,294
G_{CH_4} , г/км	0,072	0,067	0,073	0,065	0,075	0,066	0,081	0,069	0,092	0,075
G_{NO_x} , г/км	3,486	3,279	4,731	4,371	6,257	5,740	7,743	7,142	9,030	8,369
G_{C} , г/км	0,391	0,336	0,456	0,373	0,539	0,427	0,651	0,510	0,805	0,633
$G_{\Sigma\text{C}}$, г/км	230,96	212,707	296,19	266,797	376,69	335,558	461,67	411,437	547,95	489,182

Аналіз результатів розрахунку виявив зростання витрати біопалива зі збільшенням кута нахилу повздовжнього профілю дороги від 0 до 20 % (рух автомобіля на підйом) на 35,7%, а за зменшення кута від 0 до 20 % (рух автомобіля на спуск) зниження витрати палива на 31,4 %. Викиди шкідливих речовин під час руху автомобіля на підйом підвищуються таким чином: викиди оксидів вуглецю – на 30,2 %, вуглеводнів – на 14,0 %, оксидів азоту – на 45,8 %, сажі – на 48,3 %. Сумарні масові викиди, приведені до CO, підвищуються на 45,8 %. У випадку руху автомобіля на спуск викиди шкідливих речовин знижуються: оксидів вуглецю – на 25,7 %, вуглеводнів – на 1 %, оксидів азоту – на 42,9 %, сажі – на 21,2 %. Сумарні масові викиди, приведені до CO, знижуються на 36,6 %.

У порівнянні з дизельним паливом, масова витрата біопалива під час руху автомобіля на підйом вища на 12,0–13,0 %. Витрата палива в тепловому еквіваленті є нижчою на 1,5–2 %. Під час руху автомобіля на спуск масова витрата біопалива є вищою, в порівнянні з дизельним паливом, на 9–10 %, а в тепловому еквіваленті – нижчою на 4–5 %.

Викиди CO при використанні біопалива вищі, в порівнянні з дизельним паливом, на 18,0–20,5 % під час руху на підйом і на 14,0–19,5 % – під час руху на спуск.

Викиди CH, NO_x і сажі є нижчими при використанні біопалива, в порівнянні з дизельним паливом. Під час руху на підйом викиди на CH знижуються на 15,0–18,0 %, NO_x – на 7,5 %, сажі – на 21,5 %. Під час руху на спуск викиди CH знижуються на 7,6–11,0 %, NO_x – на 6–7,5 %, сажі – на 7,9–10 %.

Сумарні масові викиди шкідливих речовин, приведені до CO, при використанні біопали-

ва є нижчими, в порівнянні з дизельним паливом, в середньому на 10,9 % під час руху на підйом і на 8,5 % під час руху на спуск.

Перевірка адекватності одержаних результатів

Адекватність одержаних результатів перевірено в ході дорожніх випробувань вантажного автомобіля ГАЗ-53-12 з дизелем 4Ч11,0/12,5 (Д-241). В ході експериментальних досліджень визначено витрату палива під час руху вантажного автомобіля в режимах міського їздового циклу для автомобілів повною масою понад 3,5 т. Експериментальні дослідження виконано на прямолинійній ділянці шляху з горизонтальним профілем та асфальтобетонним покриттям, довжиною 1000 м. Випробувальні заїзди на дорозі здійснювались у протилежних напрямках – по два заїзди в кожному напрямку на дизельному паливі та МЕРО [7]. За результатами експериментальних та розрахункових досліджень встановлено, що розбіжність результатів не перевищує 5 %. Таким чином, одержані результати можна вважати адекватними.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що для автомобіля з дизелем, який працює на біопаливі, закономірність зміни витрати палива та викидів шкідливих речовин за зміни умов дорожнього руху подібна до автомобіля, що працює на дизельному паливі.

Масова витрата палива для всіх режимів руху є вищою при використанні біопалива, але при перерахунку в тепловий еквівалент спостерігається зниження. Викиди основних шкідливих речовин з відпрацьованими газами є нижчими для всіх режимів руху при використанні біопалива.

Література

1. Забарний Г.М. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України / Г.М. Забарний, С.О. Кудря, Г.Г. Кондратюк, Г.О. Четверик. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Відділ відновлюваних органічних енергоносіїв, 2006. – 226 с.
2. Марков В.А. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях: монография / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов и др. – М.: ООО «НИЦ инженер» (Союз НИО), 2011. – 536 с.
3. Васильев И. П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля: монография / И.П. Васильев. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 240 с.
4. Гутаревич Ю.Ф. Уточнена модель руху вантажного автомобіля з дизелем в режимах їздового циклу при роботі на дизельному та біодизельному паливах / Ю.Ф. Гутаревич, А.О. Корпач, О.О. Левківський // Управління проектами, системний аналіз і логістика: науковий журнал. – 2012. – № 9. – С. 46–51.
5. Корпач А.О. Результати стендових випробувань автотракторного дизеля за роботи на дизельному та біодизельному паливах / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Systems and means of motor transport. Selected problems. – 2010. – №1. – С. 115–118.
6. Корпач А.О. Вибір оптимального кута випередження впорскування для автотракторного дизеля за роботи на біодизельному паливі / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2011. – № 121. – С. 118–120.
7. Гутаревич Ю.Ф. Перевірка адекватності математичної моделі руху вантажного автомобіля в режимах міського їздового циклу за роботи на дизельному та біодизельному паливах / Ю.Ф. Гутаревич, А.О. Корпач, О.О. Левківський // Systems and means of motor transport. Selected problems. – 2012. – №3. – С. 87–92.

Рецензент: Ф.І. Абрамчук, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 22 квітня 2016 р.
