

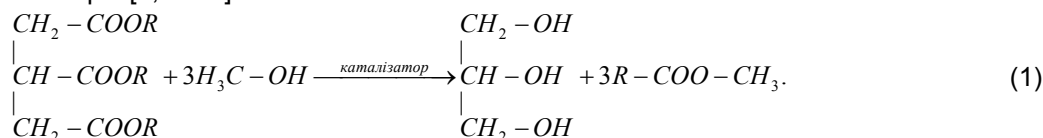
А.О. Корпач, к.т.н., проф.
Національний транспортний університет
О.О. Левківський, к.т.н.
ТОВ «Порше Мобіліті»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ, ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

У зв'язку з виснаженням світових запасів енергоресурсів та значним забрудненням навколишнього середовища шкідливими речовинами, актуальні дослідження направлені на визначення ефективності застосування альтернативних палив. У статті виконано порівняльний аналіз 2-х зразків біодизельного палива та досліджено їх фізико-хімічні властивості відповідно до вимог державного стандарту. Вплив різних зразків біодизельного палива на паливну економічність, енергетичні та екологічні показники автомобільного двигуна визначено за результатами стендових досліджень дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241). Відмінність фізико-хімічних властивостей різних зразків біодизельного палива, що досліджувалися, вплинула на паливну економічність та екологічні показники дизеля. Робота дизеля на біодизельному паливі з більш високою густиною та кінематичною в'язкістю супроводжується зростанням максимальної потужності та крутного моменту, а також підвищенням витрати палива. При цьому також підвищується концентрація оксидів азоту в відпрацьованих газах та зростає димність. Одержані результати дозволяють оцінити наскільки відмінність фізико-хімічних властивостей біодизельного палива може вплинути на експлуатаційні показники двигуна.

Ключові слова: дизель; біодизельне паливо; екологічні показники; паливна економічність.

Вступ. Поступове виснаження світових запасів мінеральних енергоресурсів, що використовуються для виробництва моторних палив, супроводжується зростанням попиту на альтернативні палива. На сьогоднішній день, одним з найбільш перспективних альтернативних палив для автомобільних двигунів, вважається біодизельне паливо. Широкому використанню біодизельного палива в автомобільних дизелях сприяють подібні, до дизельного палива, фізико-хімічні властивості та можливість виробництва з відновлюваних ресурсів [6, с. 156]. У загальній класифікації, біодизельним паливам називають ефіри жирних кислот одержані шляхом трансестерифікації одновалентними спиртами або їх ізомерами в присутності кислотних або лужних катализаторів [4, с. 32]:



Для виробництва біодизельного палива можуть використовуватися різноманітні рослинні олії або інші жири [2, с. 54]. Залежно від вихідної сировини змінюється співвідношення та структура ефірів жирних кислот, що входять до складу палива (табл. 1) [3, с. 48]. Крім того, окрім ефірів жирних кислот, до складу біодизельного палива входять залишки моногліцеридів, дигліцеридів, тригліцеридів, спирту, води і механічних домішок, які не можливо повністю видалити після завершення трансестерифікації жирних кислот. Таким чином, фізико-хімічні властивості біодизельного палива залежать від вихідної сировини та ступеня очистки палива від небажаних продуктів, що утворюються під час виробництва палива. Якість та фізико-хімічні властивості біодизельного палива, що може використовуватися в автомобільних дизелях, визначено в ДСТУ 6081:2009 [10].

Постановка проблеми. Відмінність фізико-хімічних властивостей біодизельного палива залежно від вихідної сировини та технології виробництва, може мати різноманітний вплив на паливну економічність, енергетичні та екологічні показники автомобільного дизеля [8, с. 122]. Визначивши залежність фізико-хімічних властивостей різних зразків біодизельного палива та виконавши порівняльні моторні дослідження, можливо оцінити його вплив на показники роботи двигуна.

Таблиця 1

Жирна кислота	Хімічна формула	Метиліві ефіри ріпакової олії	Метиліві ефіри соєвої олії	Метиліві ефіри соняшnikової олії	Метиліві ефіри конопляної олії
Мірітінова (C14:0)	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	1,5	1	-	-
Пальмітинова (C16:0)	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	-	8	4,6	6
Стеаринова (C18:0)	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	1,6	3,2	6,2	2,5
Олеїнова (C18:1)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	23	36	26	12,5
Лінолева (C18:2)	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	14	64	52	55
Ліноленова (C18:3)	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	2,5	1	9	20
Арахінова (C20:0)	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	1,5	0,8	0,7	1
Ейкозенова (C20:1)	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	-	-	-	1
Еруктова (C22:1)	C ₂₂ H ₄₂ O ₂	60	-	-	1
Нервонова (C24:1)	C ₂₄ H ₄₆ O ₂	-	-	-	1

Мета роботи – визначення фізико-хімічних властивостей 2-х зразків біодизельного палива та досліджено їх вплив на паливну економічність, енергетичні та екологічні показники автомобільного дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241).

Основна частина. Для дослідження впливу біодизельного палива на паливну економічність, енергетичні та екологічні показники автомобільного дизеля виконано порівняльні дослідження двох зразків біодизельного палива, які вироблені з ріпакової олії (метиліві ефіри ріпакової олії). Дослідження фізико-хімічних властивостей даних зразків палива виконано в лабораторії ДП Укр НД І НП «МАСМА» (табл. 2) [7, с. 193]. Результати лабораторних досліджень дають можливість оцінити відповідність фізико-хімічних властивостей кожного зразка палива відповідно до вимога ДСТУ 6081:2009 та порівняти їх між собою.

Один з основних показників, що визначає якість біодизельного палива – масова частка ефірів. Масова частка ефірів в обох зразках відповідає вимогам ДСТУ 6081:2009. Концентрація ефірів у другому зразку на 1,6 % вища, ніж у першому, що свідчить про більш високий ступінь очистки зразка 2 від побічних продуктів.

Густина та кінематична в'язкість біодизельного палива визначається відповідно до вимог ГОСТ 3900-85 (EN ISO 3675, EN ISO 12185) та ДСТУ ГОСТ 33-2003 (EN ISO 3104). Густина та кінематична в'язкість біодизельного палива залежить від співвідношення різних жирних кислот у відповідному зразку палива. Дані фізико-хімічні показники впливають на процеси подачі, розпилення та згорання палива в циліндрах дизеля. Встановлено, що зі зростанням в'язкості палива погіршується однорідність та дрібно-дисперсність розпилення, призводячи до збільшення далекобійності паливного факела та домінування пристінкового сумішоутворення над об'ємним. Позитивним моментом при цьому являється покращання герметичності деталей паливної апаратури дизеля, оскільки зі зростанням в'язкості зменшуються протікання палива через зазори плунжерної пари паливного насоса високого тиску (ПНВТ) та розпилювачі форсунок. Густина палива безпосередньо впливає на характер процесу подачі палива. Зі зростанням густини палива зростає максимальний тиск перед форсункою, зсувається момент початку впорскування та підвищується тривалість впорскування [6, с. 157].

Густина обох зразків знаходиться в межах передбачених стандартом, при цьому, густина першого зразка на 8,9 одиниць вища, ніж другого. Кінематична в'язкість зразка 1 на 0,5 одиниць перевищує межі передбачені державним стандартом та на 1,19 одиниці вище ніж кінематична в'язкість зразка 2. Вказана вище відмінність досліджуваних зразків палива, дозволяє прогнозувати деяке підвищення циклової подачі при роботі дизеля на першому зразку біодизельного палива порівняно з другим та, як наслідок, зростання потужності та витрати палива.

Період затримки самозаймання біодизельного палива оцінюється цетановим числом, що визначається відповідно до вимог ГОСТ 3122-67 (EN ISO 5165) або розраховується аналітичним методом. Цетанове число біодизельного палива підвищується зі зменшення ненасиченості жирних кислот, що входять до його складу. Високе цетанове число біодизельного палива сприяє зниженню періоду затримки самозаймання палива і швидкості наростання тиску, а також зменшенню максимального тиску згорання, що сприяє зниженню «жорсткості» роботи дизеля. Цетанове число обох зразків палива повністю відповідає вимогам державного стандарту.

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості дизельного та біодизельного палив

№ з/п	Назва показника	Значення	Границя	Значення згідно	Фактичне значення	
				ДСТУ 6081:2009	Зразок 1	Зразок 2
1	Масова частка ефірів	%	не менше ніж	96,5	96,5	98,1
2	Густина при температурі 15 °С	кг/м ³	у межах	860-900	887,5	878,6
3	Кінематична в'язкість при температурі 40 °С	мм ² /с	у межах	3,5-5,0	5,5	4,31
4	Температура спалаху у закритому тиглі	°С	не менше ніж	120	183	64
5	Масова частка сірки	мг/кг	не більш ніж	10	10	10
6	Коксованість (10 % залишку перегонки)	%	не більш ніж	0,3	0,1	0,04
7	Цетанове число	-	не менше ніж	51	51	51
8	Зольність	%	не більш ніж	0,02	0,005	0,007
9	Масова частка води	мг/кг	не більш ніж	500	200	300
10	Вміст механічних домішок	мг/кг	не більш ніж	24	80	-
11	Випробування на мідній пластині (3 год. за температури 50 °С)			витримує клас 1	витримує	витримує
12	Кислотне число	мг КОН/г	не більш ніж	0,5	0,6	0,4
13	Йодне число	г йоду/100г	не більш ніж	120	52,5	68,7
14	Масова частка метанолу	%	не більш ніж	0,2	0,14	0,03
15	Масова частка моногліцеридів	%	не більш ніж	0,8	1,4	0,5
16	Масова частка дигліцеридів	%	не більш ніж	0,2	0,6	0,1
17	Масова частка тригліцеридів	%	не більш ніж	0,2	0,3	0,29
18	Масова частка вільного гліцерину	%	не більш ніж	0,02	0,01	0,02
19	Масова частка загального гліцерину	%	не більш ніж	0,25	-	0,21
20	Масова частка лужних металів	мг/кг	не більш ніж	5,0	4,5	1,0
21	Масова частка фосфору	мг/кг	не більш ніж	10	7,0	5,1

Температура спалаху біодизельного палива визначається відповідно до вимог ГОСТ 6356-75 (EN ISO 2719, EN ISO 3679) та може змінюватися в широких межах залежно від вихідної сировини та технології виробництва. Висока температура спалаху свідчить про незначні залишки метанолу в паливі, що сприяє безпечному транспортуванню та зберіганню палива. Температура спалаху другого зразка на 56 одиниць нижча, ніж мінімальна межа передбачена державним стандартом, що може свідчити про значний вміст легких фракцій в кінцевому продукті. Температура спалаху першого зразка на 63 одиниці вища мінімального значення передбаченого ДСТУ 6081:2009.

Випробування на мідній пластинці, коксованість та зольність дозволяють оцінити вплив палива на деталі двигуна під час використання. Для обох зразків палива дані показники знаходяться в межах передбачених державним стандартом. Результати досліджень свідчать, що обидва зразки палива будуть мати низьку корозійну активність та нагароутворення в процесі експлуатації.

Йодне число палива дозволяє судити про ступінь ненасиченості жирних кислот, що входять до складу ефірів. По величині йодного числа судять про перевагу в рослинній олії насичених або ненасичених жирних кислот. Чим вище вміст ненасичених жирних кислот в олії, тим вище значення йодного числа в ефірі. Тугоплавкі жири мають низьке значення йодного числа,

легкоплавкі – високе. Ефіри з низьким йодним числом мають більш високий енергетичний потенціал, але натомість характеризуються високими температурами плавлення. Дані властивості жирних кислот впливають на температуру помутніння та застигання палива. Йодне число досліджуваних зразків відповідає вимогам стандарту. Йодне число першого зразка на 15,9 одиниць вище ніж другого, що вказує на більш високу теплоту згоряння зразка 1 однак гірші низькотемпературні властивості [7, с. 194].

Інші показники біодизельного палива, визначення яких передбачено ДСТУ 6081:2009, дозволяють оцінити якість біодизельного палива виходячи з концентрації різних залишкових продуктів виробничого процесу. Незначне відхилення деяких з них від граничних значень, передбачених державним стандартом, свідчить про недостатньо високий ступінь очищення палива від небажаних продуктів, що залишаються після завершення реакції трансестерифікації жирних кислот.

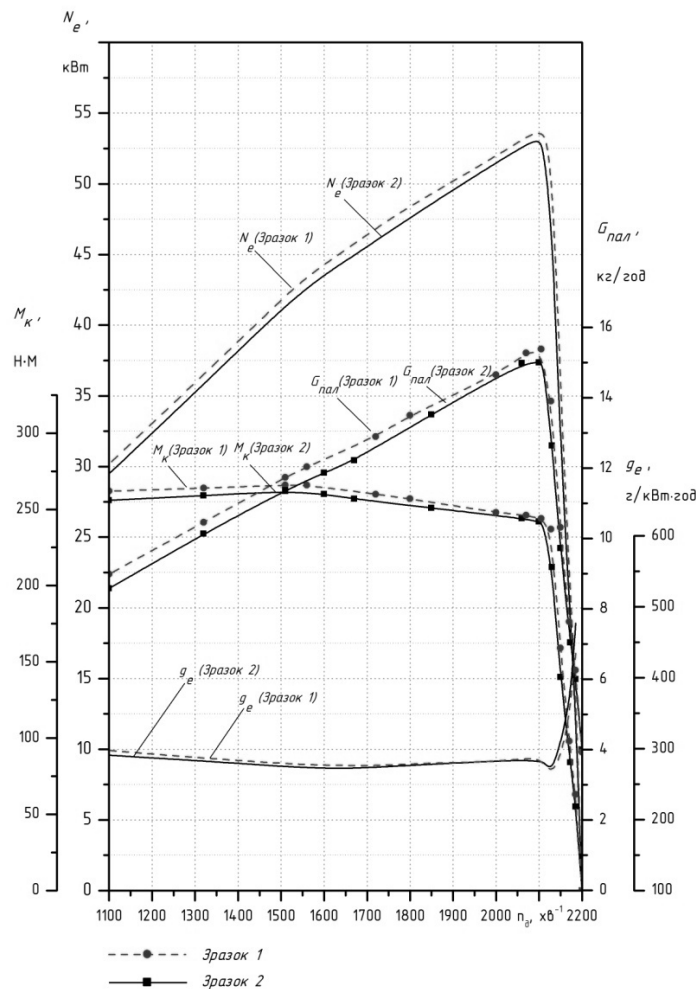


Рис. 1. Зовнішня швидкісна характеристика дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241) при роботі на різних зразках біодизельного палива

Порівняльні моторні дослідження обох зразків палива виконано на дизелі 4С11,0/12,5 (Д-241). Конструкція паливної апаратури даного дизеля дозволяє використовувати біодизельне паливо в чистому вигляді [9, с. 25]. Регулювання паливної апаратури та крута випередження впорскування виконано відповідно до вимог заводу виробника [1]. У ході випробувань визначалися: крутний момент, витрата палива, витрата повітря та викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами (CO , $\text{С}_m\text{H}_n$, NO_x , димність) на різних швидкісних та навантажувальних режимах.

Аналіз зовнішньої швидкісної характеристики дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241) при роботі на різних зразках палива (рис. 1) дозволяє визначити зміну енергетичних та паливо-економічних показників двигуна залежно від палива, що використовувалося. За результатами досліджень встановлено, що максимальний крутний момент при роботі дизеля на біодизельному паливі першого зразка на 3 Н·м вище порівняно з другим, а максимальна потужність вища на 0,6 кВт. Годинна витрата палива також вища при використанні першого зразка, в середньому на 6 %.

Зміну екологічних показників дизеля при використанні різних зразків біодизельного палива можливо проаналізувати, розглянувши навантажувальну характеристику дизеля. Для прикладу

на рисунку 2 наведено характеристику, що показує зміну концентрації основних шкідливих речовин у відпрацьованих газах залежно від зміни навантаження дизеля при частоті обертання колінчастого вала 1600 хв^{-1} . Аналіз характеристики свідчить про деяку відмінність концентрації шкідливих речовин при використанні різних зразків біодизельного палива. Концентрація оксидів вуглецю CO та вуглеводні C_mH_n змінюється залежно від навантаження та переважно вища при роботі дизеля на другому зразку палива. Концентрація оксидів азоту NO_x вища при використанні першого зразка палива в середньому на 7 %, димність відпрацьованих газів також вища при використанні першого зразка в середньому на 14 %.

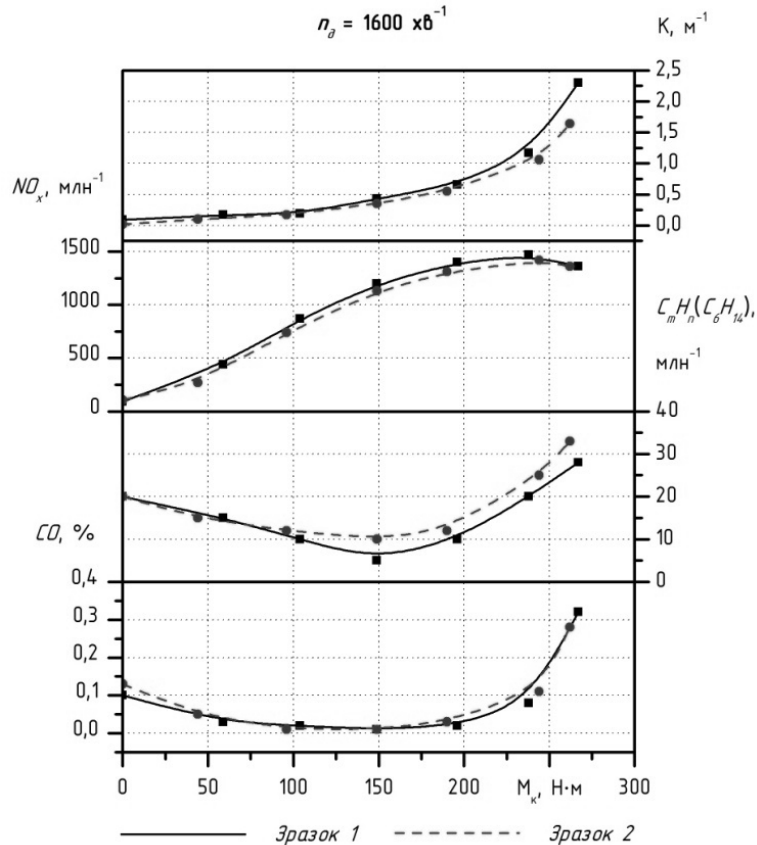


Рис. 2. Залежність зміни екологічних показників дизеля 4С11,0/12,5 (Д-241) від навантаження при роботі на різних зразках біодизельного палива

Висновок. За результатами досліджень фізико-хімічних властивостей 2-х зразків біодизельного палива та порівняльних моторних досліджень встановлено, що робота дизеля на паливі з більш високою густиною та кінематичною в'язкістю (зразок 1) супроводжується зростанням максимальної потужності та крутного моменту двигуна а також підвищенням витрати палива. При цьому також підвищується концентрація оксидів азоту в відпрацьованих газах та зростає димність. Покращити паливно-економі та екологічні показники двигуна при використанні першого зразка біодизельного палива можливо шляхом регулювання паливної апаратури [5, с. 118]. Результати досліджень дозволяють оцінити вплив фізико-хімічних властивостей біодизельного палива на експлуатаційні показники двигуна.

Список використаної літератури:

1. Дизели Д-243, Д-245 и их модификации. – Руководство по эксплуатации 243-0000100РЭ. – Минск : ОАО «Минский моторный завод», 2009. – 80 с.
2. Забарний Г.М. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України / Г.М. Забарний, С.О. Кудря, Г.Г. Кондратюк, Г.О. Четверик // Інститут відновлюваної енергетики НАН України: Відділ відновлюваних органічних енергоносіїв. – К., 2006. – 226 с.
3. Карнаух М.В. Розширення паливної бази автомобільного транспорту шляхом застосування етилових ефірів жирних кислот рослинних олій / М.В. Карнаух // Весник ХНАДУ. – 2010. – № 49. – С. 47–51.

4. Корпач А.А. Метилловый эфир рапсового масла как топливо для автотракторных дизелей / А.А. Корпач, А.А. Левковський // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 9. – С. 32–33.
5. 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.
6. Корпач А.О. Возможности та перспективи використання біопалива в дизелях / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Автошляховик України / Окремий випуск. – 2009. – № 12. – С. 156–158.
7. Корпач А.О. Оцінка експлуатаційних властивостей біодизельного палива при низьких температурах / А.О. Корпач, О.О. Левківський, Б.Ф. Кочирко // Вісник НТУ. – 2010. – Вип. 20. – С. 193–197.
8. Корпач А.О. Оцінка ефективності застосування біопалива в дизелях вантажних автомобілів / А.О. Корпач, О.С. Добровольський, О.О. Левківський, В.В. Славін // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В.Далія. – 2012 – № 9 (180). – С. 122–126.
9. Корпач А.О. Оцінка ефективності роботи автотракторного дизеля на метиловому ефірі ріпакової олії / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Вісник центрального наукового центру транспортної академії України / Окремий випуск. – 2011. – № 14. – С. 25–28.
10. Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів : Технічні вимоги. – Національні стандарти України ; ДСТУ 6081:2009. – Чинний від 2010-03-01. – К. : ДП Укр НД І НП «МАСМА», 2009. – 14 с.

References:

1. *Dizeli D-243, D-245 i ikh modifikatsii. Rukovodstvo po ekspluatatsii 243-0000100RE* (2009), ОАО "Minskiy motornyy zavod", Minsk, 80 p.
2. Zabarnyj, G.M., Kudrja, S.O., Kondratjuk, G.G. and Chetveryk, G.O. (2006), *Termodynamichna efektyvnist' ta resursy ridkogo biopalyva Ukrainy*, Instytut vidnovljuvanoi energetyki NAN Ukrainy, viddil vidnovljувanyh organichnyh energonosii'v, Kyiv, 226 p.
3. Karnauh, M.V. (2010), "Rozshyrennja palyvnoi' bazy avtomobil'nogo transportu shljahom zastosuvannja etylovyh efiriv zhyrnyh kyslot roslynnyh olij", *Vesnik HNADU*, Vol. 49, pp. 47–51.
4. Korpach, A.A. and Levkovskiy, A.A. (2012), "Metilovyy efir rapsovogo masla kak toplivo dlya avtotraktornykh dizeley", *Avtomobil'naya promyshlennost'*, Vol. 9, pp. 32–33.
5. Korpach, A.O. and Levkovskiy, O.O. (2011), "Vybir optymal'nogo kuta vyperedzhennja vporoskuvannja dlja avtotraktornogo dyzelja za roboty na biodyzel'nomu palyvi", *Visnyk SevNTU. Serija: Mashynopryladobuduvannja ta transport*, Vol. 121, pp. 118–120.
6. Korpach, A.O. and Levkovskiy, O.O. (2009), "Mozhlyvosti ta perspektyvy vykorystannja biopalyva v dyzeljah", *Avtoshljahovyk Ukrainy*, Special issue, Vol. 12, pp. 156–158.
7. Korpach, A.O., Levkovskiy, O.O. and Kochyrko, B.F. (2010), "Ocinka ekspluatacijnyh vlastyvostej biodyzel'nogo palyva pry nyz'kyh temperaturah", *Visnyk NTU*, Vol. 20, pp. 193–197.
8. Korpach, A.O., Levkovskiy, O.O., Dobrovol'skyj, O.S. and Slavin, V.V. (2012), "Ocinka efektyvnosti zastosuvannja biopalyva v dyzeljah vantazhnyh avtomobiliv", *Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu imeni Volodymyra Dalja*, Vol. 9, pp. 122–126.
9. Korpach, A.O. and Levkovskiy, O.O. (2011), "Ocinka efektyvnosti roboty avtotraktornogo dyzelja na metylovomu efiri ripakovoї oliї", *Visnyk central'nogo naukovogo centru transportnoi akademii' Ukrainy*, Special issue, Vol. 14, pp. 25–28.
10. DSTU 6081:2009 (2009), *Palyvo motorne. Efiry metylovi zhyrnyh kyslot olij i zhyriv dlja dyzel'nyh dvyguniv. Tehnichni vymogy*, DP Ukr ND I NP "MASMA", Kyiv, 14 p.

КОРПАЧ Анатолій Олександрович – кандидат технічних наук, професор кафедри «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

– підвищення паливної економічності та зниження викидів шкідливих речовин транспортними засобами, використання альтернативних палив в ДВЗ.

Тел.: (044) 280–47–16.

E-mail: korpach@mail.ru.

ЛЕВКІВСЬКИЙ Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, спеціаліст відділу управління автопарками, ТОВ «Порше Мобіліті».

Наукові інтереси:

– підвищення паливної економічності та зниження викидів шкідливих речовин транспортними засобами, використання альтернативних палив в ДВЗ.

E-mail: Oleksandr.Levkivskyi@porschefinance.ua.

Стаття надійшла до редакції 02.09.2016