

Фізико-хімічні властивості біодизельних палив на основі етилових естерів рижієвої олії

А.В. Яковлева¹, С.В. Бойченко¹, А.В. Гудзь¹, С.О. Зубенко²

¹Національний авіаційний університет, Україна, 03058, Київ, просп. Космонавта Комарова (Любомира Гузара), 1; тел.: 063 630 89 59; E-mail: anna.yakovlieva@nau.edu.ua

²Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України, Україна, 02094 Київ, вул. Мурманська, 1

Дана робота присвячена проведенню аналізу фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей біодизельного палива на основі етилових естерів жирних кислот рижієвої олії та сумішевих біодизельних палив із різним відсотковим вмістом етилових естерів. Проведено порівняльний аналіз зразків біодизельних палив на основі метилових і етилових естерів жирних кислот ріпакової та рижієвої олії. Показано, що метилові та етилові естери жирних кислот ріпакової та рижієвої олії мають фізико-хімічні властивості, що істотно відрізняються від таких для традиційних дизельних палив нафтового походження, що зумовлено різною хімічною структурою молекул естерів та молекул вуглеводнів палива. При цьому, етилові естери жирних кислот рижієвої олії володіють властивостями, що є найбільш подібними серед досліджених естерів до властивостей дизельного палива. Відмічено, що етилові естери жирних кислот рижієвої олії володіють підвищеними експлуатаційними властивостями, зокрема змащувальною здатністю, що позитивно позначатиметься на експлуатації дизельних двигунів. Сформульовано і наведено переваги використання рижієвої олії перед ріпаковою, як альтернативи для виробництва біодизельного палива. Досліджено основні фізико-хімічні та експлуатаційні властивості зразків сумішевих біодизельних палив з вмістом етилових естерів жирних кислот рижієвої олії у кількості 10 %, 30 % та 50 % та проведено порівняльний аналіз з традиційним дизельним паливом нафтового походження. Показано, що властивості зразків досліджених сумішевих біодизельних палив повністю задовольняють вимогам стандартів як на біодизельне паливо, так і на традиційне нафтове дизельне паливо. У результаті дослідження обґрунтовано використання рижієвої олії для виробництва біодизельного палива, а саме для повної або часткової заміни традиційного нафтового дизельного палива.

Ключові слова: біодизельне паливо, етилові естери жирних кислот, рижієва олія, ріпакова олія, фізико-хімічні властивості, експлуатаційні властивості

Вступ

Світ вступив у нову енергетичну епоху, що характеризується підвищенням потреб у паливних енергоресурсах. Незважаючи на різкі зміни попиту і цін на нафту, тенденція до зростання споживання палива та енергії в найближчі десятиліття залишиться стабільною. Водночас тенденції розвитку суспільства вимагають підвищення ефективності використання енергоресурсів, впровадження заходів, здатних у найкоротший термін вирішити проблеми нестачі паливних ресурсів, зменшити шкідливий вплив на довкілля і провести модернізацію енергетики відповідно до вимог XXI ст.

Україна належить до країн, які мають дефіцит власних енергоносіїв і може забезпечити свої потреби за рахунок власних енергоносіїв лише на 53 %, а в нафті – на 10–12 %, в природному газі – до 30 %, що створює загрозу енергетичній безпеці країни.

Розвиток автотранспортної галузі та рівень енергозалежності нашої держави вимагають зосередження зусиль на розробленні шляхів забезпечення потреб галузі у екологічно безпечних та економічно доцільних видах палива. Одним з основних напрямів вирішення даної проблеми є перехід на використання палива з власних відновлювальних ресурсів для транспортних засобів, зокрема автомобілів, обладнаних дизельними двигунами внутрішнього згоряння [1].

Окрім використання ріпакового біодизелю, що став майже традиційним, необхідно розширювати сировинну базу олій. Це пояснюється тим, що такі олійні культури як соняшник, соя, кукурудза тощо вирощуються у першу чергу для забезпечення потреб харчової галузі. З цих же міркувань культивування технічних культур, таких як ріпак, обмежується доступними для вирощування площами. На сьогодні однією з найперспективніших альтернативних олійних культур, що характеризу-

ється низькими вимогами до умов вирощування є рижій посівний (*Camelina sativa L.*) [1-5]. Культура рижію є вельми невибагливою до якості ґрунтів, кліматичних умов вирощування, стійкою до шкідників, хвороб та холодів, не потребує внесення великої кількості мінеральних добрив. Короткий період вегетації сприяє також вирощуванню рижію як проміжної культури в післязбиральних посівах [6]. Окрім того, вирощування рижію не призводить до інтенсивного виснаження родючих земель. Зважаючи на наведене вище, цілком очевидно, що вирощування рижію як сировини для виробництва біодизельного палива матиме низку переваг у порівнянні з іншими сільськогосподарськими культурами, що використовуються сьогодні.

Уведення в енергетичний баланс України відновлюваних біологічних видів палива для збільшення сировинного ресурсу та для забезпечення сталості й екологічності таких палив є одним з актуальних завдань сьогодення [7]. Упровадження та використання таких палив дасть змогу зменшити використання викопних неоновлюваних джерел енергії, забруднення природного середовища токсичними речовинами та парниковими газами.

Мета

Метою роботи є дослідження властивостей біодизельного палива на основі етилових естерів рижієвої олії та обґрунтування доцільності його використання у порівнянні з аналогічними паливами на основі інших видів сировини.

Методи дослідження

Зразки біодизельного палива синтезували на базі відділу каталітичного синтезу № 10 Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії імені В.П. Кухаря НАН України. Синтез виконували відповідно зі схемою, зображеною на рис. 1.

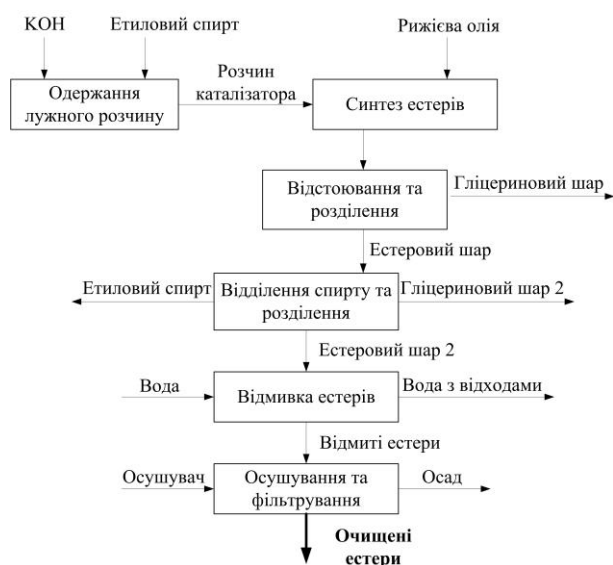


Рис. 1. Принципова схема одержання етилових естерів рижієвої олії

Для переестерифікації використовували нерафіновану рижієву олію виробництва ТОВ «ВЄДАЛАН» (Україна) (ТУ У 10.4-38771490-011:2013) та товарний етанол паливного призначення – компонент палива моторного альтернативний (КМПА) (ТУ У 24.6-30219014-009:2007). Як каталізатор використовували гідроксид калію марки «ч.д.а.» (Чехія). Сульфат натрію безводний марки «Ч» (Німеччина) застосовували для осушування продукту.

Синтез проводили у конічній колбі з перемішуванням за допомогою магнітної мішалки за кімнатної температури, додаючи попередньо приготований розчин луґу в КМПА до олії.

Одержання етилових естерів рижієвої олії (ЕЕРиж) включало наступні етапи :

- приготування спиртового розчину каталізатора;
- проведення переестерифікації олії етиловим спиртом;
- відстоювання та розділення продуктів на естеровий та гліцериновий шар;
- відпарювання етилового спирту з естерового шару;
- повторне відділення утвореного після відпарки етанолу гліцеринового шару 2 від естерів;
- відмивка естерового шару 2 гарячою водою;
- осушка відмитих естерів за допомогою нейтрального осушувача Na_2SO_4 безводного;
- фільтрація осушених естерів на паперовому фільтрі.

Надалі визначали якісні характеристики одержаного біодизельного палива на основі етилових естерів рижієвої олії (ЕЕРиж) за показниками густини, в'язкості, фракційного складу, температури спалаху, застигання та фільтрування, теплоти згорання, змашувальних властивостей та корозійної агресивності. Дослідження проводили за стандартними методиками на базі Навчально-наукової лабораторії Альтернативних моторних палив ім. професора Белянського Національного авіаційного університету. Характеристики біодизельного палива на основі ЕЕРиж порівнювали з характеристиками біодизельного палива на основі метилових естерів ріпакової олії (МЕРіп), етилових естерів ріпакової олії (ЕЕРіп) та етилових естерів соняшникової олії (ЕЕСон), а також з вимогами до якості традиційного дизельного палива ДСТУ 7688:2015 та вимогами до біодизельних палив (ДСТУ 6081:2009 та ДСТУ 7178:2009) [8,9].

Наступним етапом роботи було дослідження показників якості сумішевих біодизельних палив з різним вмістом ЕЕРиж (10 %, 30 % та 50 %) та порівняльний аналіз з характеристиками дизельного палива нафтового походження. Дослідження проводили за показниками густини, в'язкості, фракційного складу, температури спалаху, температури застигання та корозійної агресивності за стандартними методиками. Умовне позначення зразків досліджених палив наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Характеристика зразків досліджуваних палив

№ з/п	Характеристика зразків палива	Умовне позначення
1	Дизельне паливо нафтового походження за ДСТУ 7688:2015	ДП
2	Етилові естери рижієвої олії	ЕЕРиж
3	Дизельне паливо нафтового походження зі вмістом етилових естерів рижієвої олії у кількості 10 %	ДП + 10 %
4	Дизельне паливо нафтового походження зі вмістом етилових естерів рижієвої олії у кількості 30 %	ДП + 30 %
5	Дизельне паливо нафтового походження зі вмістом етилових естерів рижієвої олії у кількості 50 %	ДП + 50 %

Дослідження властивостей біодизельних палив на основі етилових естерів

Результати досліджень основних фізико-хімічних властивостей ЕЕРиж, а також інших естерів рослинних олій наведено у таблиці 2.

З даних, наведених у таблиці 2, видно, що основні фізико-хімічні властивості зразків біопалив відрізняються від товарного дизельного палива. Це пояснюється різною хімічною будовою естерів жирних кислот, що входять до складу біодизельного палива та парафінових, нафтоених і ароматичних вуглеводнів, що складають мінеральне дизельне паливо [10].

Зокрема, зразки біодизельного палива мають достатньо високі значення густини, порівняно з вимогами до дизельного палива. У той же час, усі досліджені зразки цілком задовольняють вимогам стандартів на естери жирних кислот. При цьому для ЕЕ рижієвої олії характерне достатньо низьке значення густини.

Аналіз в'язкісних характеристик показує, що в'язкість зразків біодизельних палив задовольняє вимогам стандартів на естери жирних кислот [8-9]. При цьому в'язкість ЕЕ рижієвої олії є найнижчою і цілком задовольняє вимогам до нафтового дизельного палива.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика показників якості зразків біодизельних палив та нафтового дизельного палива

№ з/п	Характеристика	ДСТУ 7688: 2015	ДСТУ 6081: 2009	ДСТУ 7178: 2010	МЕРіп	ЕЕРіп	ЕЕСон	ЕЕРиж
2.	Густина за $t=20^{\circ}\text{C}$, $\text{кг}/\text{м}^3$	820–845	860-900	860–900	882,9	876,6	873,0	874,0
3.	Фракційний склад, $^{\circ}\text{C}$ t поч. кип., $^{\circ}\text{C}$	-			320,3	330,9	276,2	321,5
	t 50 % перегонки, $^{\circ}\text{C}$	-			337,0	337,2	329,3	338,0
	за t 250 $^{\circ}\text{C}$ випаровується, %	не >65	н/в	н/в	-	-	-	-
	за t 350 $^{\circ}\text{C}$ випаровується, %	не <85			-	-	-	-
t 95 % перегонки, $^{\circ}\text{C}$	не >360			-	-	-	-	
4.	В'язкість, $\text{мм}^2/\text{с}$, за t 40 $^{\circ}\text{C}$	2,00–4,50	н/в	3,5–5,0	4,5	4,6	4,7	4,1
5.	Температура спалаху, $^{\circ}\text{C}$	не <55	не <120	не <101	130	170	>168	>175
6.	Температура застигання, $^{\circ}\text{C}$	н/в	н/в	н/в	- 15	-18,5	-14	-23
7.	Гранична температура фільтрування, $^{\circ}\text{C}$	не >-5	н/в	н/в	- 13	- 7	- 10	-14
8.	Вища теплота згорання, МДж/кг	н/в	н/в	н/в	37,3	40,3	39,1	39,8
9.	Змашувальна здатність: - навантаження до задирання, Н	н/в	н/в	н/в	961	763	-	2644
10.	Корозія на мідній пластинці	клас 1	н/в	клас 1	1	1	1	1

Усі з досліджених зразків біопалив володіють високою температурою спалаху, що є характерним для естерів жирних кислот. Такі значення температури спалаху дозволяють забезпечувати достатній рівень пожежної безпеки під час експлуатації біодизельного палива [10].

Значення температури застигання та граничної температури фільтрування є типовими для естерів жирних кислот та зумовлюються хімічною будовою їх молекул.

Масова теплота згорання естерів жирних кислот є нижчою, ніж у нафтового дизельного палива, що може негативно відобразитися на потужності двигуна. У той же час, враховуючи вищу густину біопалив, об'ємна теплота згорання біодизельного та нафтового дизельного палива буде відрізнятися не істотно [11]. Серед досліджених зразків найвищою теплоотою згорання володіють ЕЕ ріпакової та рижієвої олій.

Корозія на мідній пластині як для нафтового дизельного палива, так і для зразків біопалив відноситься до першого класу.

Дослідження біопалив показали, що їх змащувальна здатність є значно вищою порівняно з нафтовими дизельними паливами. Серед досліджених зразків найвищі значення відмічено саме для ЕЕ рижієвої олії. При цьому естери жирних кислот олій практично не містять сполук сірки [12]. Таким чином використання їх як

альтернативи або додатку до дизельних палив забезпечить високі експлуатаційні властивості, а також дозволить підвищити екологічність викидів відпрацьованих газів.

Дослідження властивостей сумішевих біодизельних палив на основі етилових естерів рижієвої олії

Надалі проведено дослідження фізико-хімічних показників якості зразків сумішевих біодизельних палив – сумішей нафтового дизельного палива з різним відсотковим вмістом ЕЕРиж. Одержані результати порівняно з фізико-хімічними властивостями нафтового дизельного палива та ЕЕРиж. Результати досліджень наведено у таблиці 3.

З даних, наведених у таблиці 3 можна побачити, що основні фізико-хімічні властивості зразків біопалив, дизельного палива, та сумішей дизельного палива з різним вмістом ЕЕ рижієвої олії (10%, 30 та 50 %) цілком задовольняють вимогам основних нормативних документів щодо якості дизельних та біодизельних палив.

Зокрема, зразки біодизельного палива мають достатньо високі значення густини порівняно з вимогами до дизельного палива. У той же час, усі досліджені зразки цілком задовольняють вимогам стандартів на естери жирних кислот (рис.2).

Таблиця 3. Порівняльна характеристика показників якості зразків біодизельних палив та нафтового дизельного палива з різним відсотковим вмістом ЕЕ рижієвої олії

Характеристика	ЕЕ ріпакової олії	ЕЕ рижієвої олії	Дизельне паливо	Дизельне паливо +10% ЕЕ рижієвої олії	Дизельне паливо +30% ЕЕ рижієвої олії	Дизельне паливо +50% ЕЕ рижієвої олії
Густина за $t=20^{\circ}\text{C}$, кг/м^3	881,0	882,0	832,0	834,0	844,0	856,0
Фракційний склад, $^{\circ}\text{C}$ t поч. кип., $^{\circ}\text{C}$ t 50 % перегонки, $^{\circ}\text{C}$ за t 250 $^{\circ}\text{C}$ випаровується, % за t 350 $^{\circ}\text{C}$ випаровується, % Кінець кипіння, $^{\circ}\text{C}$	н/в	н/в	153,0 248,1	163,9 257,6	176,6 274,2	157,8 310,9
В'язкість, $\text{мм}^2/\text{с}$, за t 40 $^{\circ}\text{C}$	5,47	4,45	2,17	2,33	2,78	3,28
Температура спалаху, $^{\circ}\text{C}$	не <110	не >170	58	57	70	73
Температура застигання, $^{\circ}\text{C}$	-14	-23	-49	-46	-41	-33
Цетанове число (не менше)	49,6	45,6	47,7	49,4	44	52
Корозія на мідній пластинці	клас 1а	клас 1в	клас 1а	1а	1а	1а

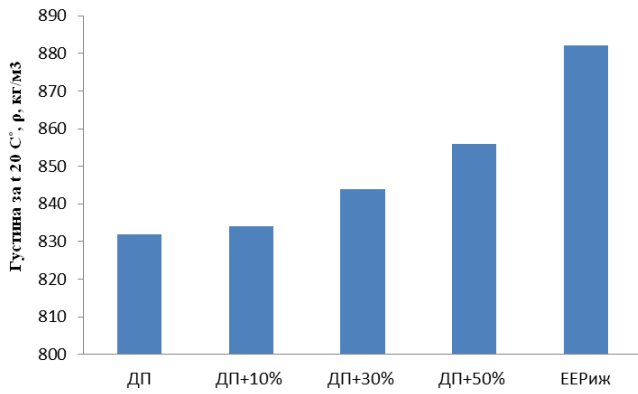


Рис. 2. Залежність густини біопалив від вмісту біокомпоненту

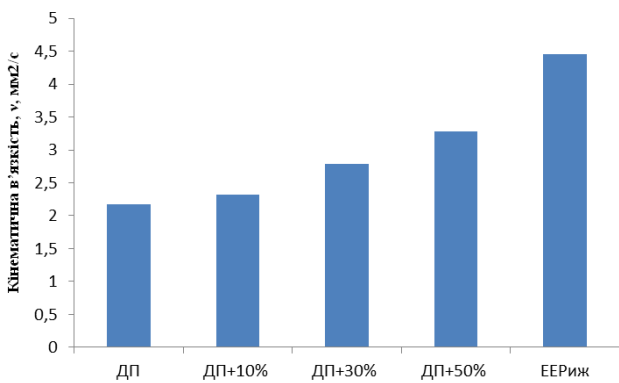


Рис. 3. Залежність кінематичної в'язкості зразків палива від вмісту біокомпоненту

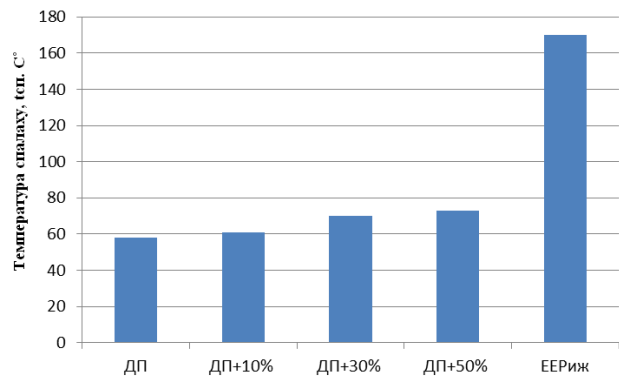


Рис. 4. Залежність температури спалаху зразків палива від вмісту біокомпоненту

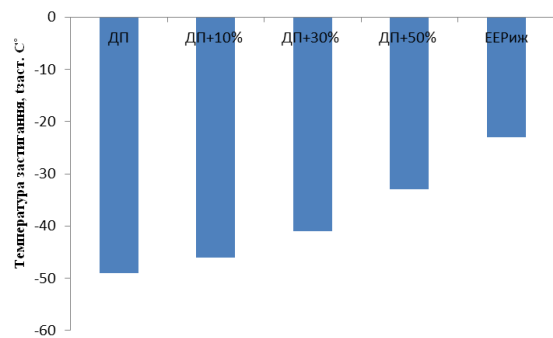


Рис. 5. Залежність температури застигання зразків палива від вмісту біокомпоненту

Визначений фракційний склад дизельного палива з різним вмістом ЕЕ рижієвої олії показує, що випаровуваність таких палив вища, відповідно покращується якість сумішоутворення, підвищується економічність, знижується нагароутворення та димність відпрацьованих газів.

Аналіз в'язкісних характеристик показує, що в'язкість зразків біодизельних палив задовольняє вимогам стандартів (рис. 3).

Температура спалаху усіх досліджених зразків палив із різним вмістом біокомпоненту є високою, що є характерним для естерів жирних кислот. Такі значення температури спалаху дозволять забезпечувати достатній рівень пожежної безпеки під час експлуатації.

Значення температури застигання є типовими для естерів жирних кислот та зумовлюються хімічною будовою їх молекул. Враховуючи вимоги до палива (марка З), доходимо висновку, що всі з досліджених зразків біопалив можуть використовуватися як заміна або додаток до мінерального палива, а дизельне паливо з вмістом 50% ЕЕ рижієвої олії можна використовувати навіть у країнах з досить низькими температурними умовами [13].

Корозія на мідній пластині як для нафтового дизельного палива так і для зразків біопалив з різним відсотковим вмістом біокомпоненту відноситься до першого класу.

Висновки

1. Проаналізовано доцільність вирощування рижію як сировини для виробництва біопалив, що матиме низьку перевагу у порівнянні з іншими сільськогосподарськими культурами використовуваними сьогодні. Застосування біопалив на основі рижієвої олії дозволить знизити викиди CO₂ протягом усього життєвого циклу таких палив, знизити антропогенне навантаження на навколишнє середовище, розширити сировинну базу для виробництва моторних палив, а отже знизити енергетичну залежність від невідновлюваних джерел енергії.

2. На основі проведених експериментальних досліджень здійснено порівняльний аналіз показників якості зразків біодизельного палива на основі етилових естерів ріпакової та рижієвої олії та вимог до якості біодизельного палива та нафтового дизельного палива марки Євро. Показано, що властивості зразків досліджених біопалив, зокрема на основі рижієвої олії цілком задовольняють вимогам стандартів на біодизельне та дизельне палива.

3. Показано, що сумішеві біодизельні палива на основі ЕЕРиж цілком задовольняють вимогам до якості як традиційних нафтових дизельних палив, так і альтернативних аналогів. Одержані результати свідчать про те, що використання рижієвої олії - як сировини для виробництва біодизельного палива є обґрунтованим з огляду на показники якості біодизельних палив на його основі.

Література

1. Колодзько Т.Г. Потенціал виробництва біопалива в Україні: URL: http://www.btsau.kiev.ua/files/list/edition/ed_fkbijdakvh.pdf (дата звернення: 19.02.2019 р).
2. Шевченко І.А., Полякова О.І., Ведмедєва К.В., Комарова І.Б. Рижій, сафлор, кунжут. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури). Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. *Статус*. 2017. С.40 .
3. Iakovlieva A.V., Boichenko S.V., Vovk O.O. Overview of innovative technologies for aviation fuels production. *Chemistry and Chemical Technology*. 2013, Vol. 7, № 3, P. 305-312. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht07.03.305>.
4. Iakovlieva A., Boichenko S., Lejda K., Vovk O., Shkilniuk I. Vacuum Distillation of Rapeseed Oil Esters for Production of Jet Fuel Bio-Additives. *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 187, P. 363–370 DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.387
5. Kryshchtopa, S. Kryshchtopa, L., Melnyk, V., Dolishnii, B., Prunko, I., Demianchuk, Y. Experimental research on diesel engine working on a mixture of diesel fuel and fusel oils. *Transport problems*, 2017, Vol. 12, No. 2, p. 53-63. DOI: 10.20858/tp.2017.12.2.6.
6. Демидась Г., Квітко Г., Гетьман Н. Рижій посівний – олійна культура альтернативна ріпаку ярому для виробництва біодизелю. *Збірник наукових праць ВНАУ*, 2011, № 8 (48). С. 3–8.
7. Solis J.L., Berkemar A.L., Alejo, Kiros L. Biodiesel from rapeseed oil (*Brassica napus*) by supported Li₂O and MgO. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2016. No.8,1. P.9-23.
8. EN 14214:2003 «Automotive fuels — Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines — Requirements and test methods» (Палива для двигунів внутрішнього згорання. Метиллові ефіри жирних кислот. Технічні вимоги та методи випробування). URL: http://en.wikipedia.org/wiki/EN_14214: (дата звернення: 01.05.2019 р).
9. ДСТУ 6081:2009 Топливо моторное. Эфиры метиловые жирных кислот масел и жиров для дизельных двигателей. Технические требования. [Чинний від 01.03.2010]. Видофіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2009.
10. Panchuk M., Kryshchtopa S., Shlapak L., Kryshchtopa L., Yarovi V., Sladkovskiy, A. Main trend of biofuels Production in Ukraine. *Transport Problems*. 2017. Vol. 12, No. 4. P. 95–103.
11. Issariyakul, T., Dalai, A. K. Biodiesel Production from Greenseed Canola Oil. *Energy Fuels*, 24, 9, 4652-4658, (2010). URL: <https://doi.org/10.1021/ef901202b> (дата звернення: 18.12.2019).
12. Demirbas, A., Karislioglu, S. Biodiesel Production Facilities from Vegetable Oils and Animal Fats. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 29:2, 133–141, (2007). URL: <https://doi.org/10.1080/009083190951320> (дата звернення: 07.11.2019).
13. Moser B.R. Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity of false hope? *Lipid technology*. 2010. Vol. 22, № 12. P. 270 – 273.
14. Зубенко С.О., Патриляк Л.К., Коновалов С.В. Порівняння фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей біодизельного палива на основі метанолу та тіоспиртів. *Каталіз і нефтехімія*. 2018. № 27. С. 1 – 18.
15. Патент 85034 Україна. МПК С 07 С 51/42, С 07 С 69/00, С 10 L 1/00, С 10 L 1/02. Патриляк Л.К., Патриляк К.І., Охріменко М.В. Спосіб одержання етилових естерів жирних кислот. Україна.10.12.08. Бюл. № 23.
16. Cherian G. Camelina sativa in poultry diets: opportunities and challenges. Biofuel co-products as livestock feed. *Opportunities and challenges, at Ed. Harinder P.S.M.*, 2012. Ch.17. P. 303 – 310.

References

1. Kolodko T.H. Potensial vyrobnytsva biopalyva v Ukraini: URL: http://www.btsau.kiev.ua/files/list/edition/ed_fkbijdakvh.pdf. (document viewing : 19.02.2019 p). [In Ukrainian].
2. Shevchenko I.A., Poliakova O.I., Vedmedieva K.V., Komarova I.B. Ryzhii, saflor, kunzhut. Stratehiia vyrobnytsva oliinoi syrovyny v Ukraini (maloposhyreni kultury). Instytut oliinykh kultur Natsionalnoi akademii ahrarykh nauk Ukrainy. *Status*. 2017. P.40. [In Ukrainian].
3. Iakovlieva A.V., Boichenko S.V., Vovk O. O. Overview of innovative technologies for aviation fuels production. *Chemistry and Chemical Technology*. 2013, Vol. 7, № 3, P. 305-312. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht07.03.305>. [In English].
4. Iakovlieva A., Boichenko S., Lejda K., Vovk O., Shkilniuk I. Vacuum Distillation of Rapeseed Oil Esters for Production of Jet Fuel Bio-Additives, *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 187, P. 363-370. DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.387 [In English].
5. Kryshchtopa, S. Kryshchtopa, L., Melnyk, V., Dolishnii, B., Prunko, I., Demianchuk, Y. (2017). Experimental research on diesel engine working on a mixture of diesel fuel and fusel oils. *Transport problems*, Vol. 12. No. 2, p. 53-63. DOI: 10.20858/tp.2017.12.2.6. [In English].
6. Demydas H., Kvitko H., Hetman N. Ryzhii posivnyi – oliina kultura alternatyvna ripaku yaromu dlia vyrobnytsva biodyzeliu. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU*, 2011, № 8 (48). P. 3-8. [In Ukrainian].
7. Solis J.L., Berkemar A.L., Alejo, Kiros L. Biodiesel from rapeseed oil (*Brassica napus*) by supported Li₂O and MgO. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2016. No.8,1. P.9-23. [In English].
8. EN 14214:2003 «Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods» URL: http://en.wikipedia.org/wiki/EN_14214: (document viewing: 01.05.2019 p). [In English].

9. DSTU 6081:2009 Topливо motornoe. Efiry metylovye zhyrnykh kyslot masel i zhirov dlia dizelnykh dvihatelei. Tekhnicheskyye trebovaniya. [Chynnyi vid 01.03.2010]. Vyd.ofits. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. [In Ukrainian].
10. Panchuk M., Kryshchak S., Shlapak L., Kryshchak L., Yarovy V., Sladkovskyi, A. Main trend of biofuels Production in Ukraine. *Transport Problems*. 2017. Vol. 12, No. 4. P. 95-103. [In English].
11. Issariyakul, T., Dalai, A. K. Biodiesel Production from Greenseed Canola Oil. *Energy Fuels*, 24, 9, 4652-4658, (2010). URL: <https://doi.org/10.1021/ef901202b> (document viewing: 18.12.2019). [In English].
12. Demirbas, A., Karlioglu, S. Biodiesel Production Facilities from Vegetable Oils and Animal Fats. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 29:2, 133-141, (2007). URL: <https://doi.org/10.1080/009083190951320> (document viewing : 07.11.2019). [In English].
13. Moser B.R. Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity of false hope? *Lipid technology*. 2010. Vol. 22, № 12. P. 270 - 273. [In English].
14. Zubenko S.O., Patryliak L.K., Konovalov S.V. Porivniannia fizyko-khimichnykh ta ekspluatatsiinykh vlastyvoستي biodyzelnoho palyva na osnovi metanolu ta tiopyrtiv. *Katalyz y neftekhymyia*. 2018. № 27. P. 1 - 18. [In Ukrainian].
15. Patent 85034 Ukraina. MPK C 07 C 51/42, C 07 C 69/00, C 10 L 1/00, C 10 L 1/02. Patryliak L.K., Patryliak K.I., Okhrimenko M.V. Sposib oderzhannia etylovykh esteriv zhyrnykh kyslot. Ukraina.10.12.08. Biul. № 23. [In Ukrainian].
16. Cherian G. Camelina sativa in poultry diets: opportunities and challenge. Biofuel co-products as livestock feed. *Opportunities and challenges, at Ed. Harinder P.S.M.*, 2012. Ch.17. P. 303 - 310. [In English].

Надійшла до редакції 05.02.2020 р.

Physical-chemical properties of biodiesel fuels based on camelina oil ethyl esters

A.V. Yakovlieva¹, S.V. Boichenko¹, A.V. Hudz¹, S.O. Zubenko²

¹*National Aviation University, Kosmonavt Komarov Ave. (Lyubomir Husar), 1, Kyiv, Ukraine, 03058; tel.: 063 630 89 59; E-mail: anna.yakovlieva@nau.edu.ua*

²*V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the NAS of Ukraine, 1, Murmanska Str., 02094 Kyiv, Ukraine,*

This paper is devoted to the analysis of physical-chemical and exploitation properties of biodiesel fuels based on fatty acids ethyl esters of camelina oil and blended biodiesel fuels with different content of ethyl esters. The comparative analysis of samples of biodiesel fuels based on fatty acids methyl and ethyl esters of rapeseed and camelina oil was performed. It is shown that the fatty acids methyl and ethyl esters of rapeseed and camelina oils have physical-chemical properties, which significantly differ from those of traditional diesel fuels of petroleum origin. This is explained by the different chemical structure of ester molecules and molecules of fuel's hydrocarbons. In this case, the fatty acids ethyl esters of camelina oil have properties, which are the most similar to the properties of conventional diesel fuel among studied esters. It is noted that fatty acids ethyl esters of camelina oil have high performance properties, in particular, lubricating ability, which will have positive effect on exploitation of diesel engines. The advantages and benefits of using camelina oil over rapeseed as an alternative feedstock for biodiesel production are formulated and outlined. The basic physical-chemical and exploitation properties of mixed biodiesel fuels samples containing fatty acids ethyl esters of camelina oil in a quantity of 10%, 30% and 50% were fulfilled and comparative analysis with traditional diesel fuel of petroleum origin was carried out. It is shown that the properties of the studied samples of biodiesel fuel blends fully meet the requirements of the standards for both biodiesel fuel and traditional petroleum-based diesel fuel. This study substantiates the use of camelina oil for production of biodiesel, namely for the complete or partial replacement of traditional petroleum-based diesel fuel.

Keywords: biodiesel fuel, fatty acids ethyl esters, camelina oil, rapeseed oil, physical-chemical properties, exploitation properties