
ФІЗИКО-ХЕМІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ПАЛИВНО- МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

УДК 662.758; 665.733.5; 665.753.4; 665.7.038.03; 662.756

С. А. Курта, В. С. Рібун

Сучасний стан використання оксигенвмісних добавок до палив (огляд)

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна*

Стаття містить аналіз оксигенвмісних добавок до моторних палив та сумішей на їх основі. Із аліфатичних спиртів найбільш застосовуваним є етанол, який, завдяки високому октановому числу, позитивно впливає на експлуатаційні властивості низькооктанових бензинів. Ступінь абсолютизації етанолу відіграє вирішальну роль для стабільності бензиново-етанольних палив. Переестерифіковані форми рослинних олій широко застосовуються як самостійне паливо та як компонент дизельних сумішевих палив. Показано, що гліцерин, який залишається під час виготовлення біодизельних палив також можна піддавати естерифікації та застосовувати в якості добавок до палива.

Ключові слова: оксигенвмісні добавки, етанол, біодизель, гліцерин, сумішеве паливо.

S. A. Kurta, V. S. Ribun

Recent Advances in Usage of Oxygen-Containing Additives (A Review)

Vasyl Stefanyk Precarpatian National University Shevchenko Street, 57, Ivano – Frankivsk, 76000

The article deals with the analysis of oxygen-containing additives to motor fuels and mixtures based on them. Among the aliphatic alcohols, ethanol is the most used. Due to the high octane number, ethanol has a positive effect on the performance of low octane gasoline. Ethanol purity is crucial for the stability of gasoline-ethanol fuels. Transesterified forms of natural oils are widely used both as fuel and as a component of diesel fuels. It has been shown that waste glycerol of biodiesel production can also be esterified and used as a fuel additive.

Key words: oxygen-containing additives, ethanol, biodiesel, glycerol, mixed fuel.

Стаття поступила до редакції 16.09.2019; прийнята до друку 05.12.2019.

Вступ

У зв'язку з вичерпністю запасів викопних нафтових палив гостро постає питання про їх, якщо не повну, то хоча б часткову, заміну на палива, які виготовляють з поновлювальної сировини. Широкого застосування набули добавки до палив, у складі яких є атом оксигену, оскільки він підвищує ступінь згорання палива. До них відносять кілька класів органічних речовин,

зокрема аліфатичні спирти, ефіри та естери. Яскравим прикладом застосування спиртів є газохолі, які набули поширення в країнах Америки та Європи.

Застосування метилтретбутилового ефіру вже набуло глобального поширення. А суміші дизпалива та біодизелю, що являє собою естери вищих жирних кислот, давно використовують в країнах Європи.

Ці палива отримали назву сумішеві або композиційні, оскільки вони отримані в результаті змішування нафтового палива зі спиртами або добавками на основі спиртів, біодизелем або іншими естерними добавками.

1. Спирти та ефіри як компоненти сумішевих палив

1.1. Компонентами спиртових палив зазвичай є метиловий, етиловий та бутилові спирти. Оскільки спирти володіють високими октановими числами, то їх вводять у низькооктанові бензини для покращення антидетонаційних властивостей останніх [1-3]. В таблиці 1 наведені деякі характеристики спиртів та бензину.

Таблиця 1
Фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики бензини та деяких спиртів [4]

№ з/п	Властивість	Бензина	Метанол	Етанол	n-Бутанол
1	Густина за 20 °С, кг/м ³	740	792	789	809
2	Калорійність, МДж/кг	46	19,5	26	38
3	Тепло пароутворення, кДж/кг	330	1104	850	591,2
4	Температура кипіння, T _{кип.} , °С	33-205	64,7	78	117
5	Температура спалаху, °С	< 0	6	13	34
6	Температура самозаймання, T _{самоз.} , °С		440	363	345
7	Тиск пари за 20 °С	60	37	15,8	6,1
8	Маса повітря, необхідна для спалювання 1 кг палива	14,9	6,52	9	12,7
9	Октанове число, отримане: а) дослідницьким методом (RON) б) моторним методом (MON)	92-100 82-84	106- 135 87-95	108 94	118 106

Проте, попри високе ОЧ метанолу його застосування є недоцільним через високу токсичність, корозійну здатність та високу затратність виробництва. Слід також зазначити, що спиртові палива є більш екологічними, оскільки в результаті їх спалювання утворюється менше токсичних речовин у вихлопних газах [4].

1.2. Останнім часом провідні світові компанії такі як British Petroleum та Dupont займаються випробуванням композиційних палив на основі бензину та біобутанолу. Разом з тим суміші бутилового спирту та метил-трет-бутилового етеру (МТБЕ) виглядають досить перспективними з точки зору зменшення використання МТБЕ, від якого через токсичність виробники поступово відмовляються. Ведуться також дослідження сумішей дизельного палива зі спиртами. Основною проблемою використання такого палива є погана змішувальність компонентів через вміст залишкової води (4-6%) у промислових марках етанолу та його нестабільність при низьких температурах [5, 6, 7].

1.3. Деякі автори [8,9] пропонують суміші, які містять емульгатори для підвищення стабільності дизельно-спиртових емульсій. У

якості емульгаторів використовують різноманітні ПАВ, зокрема стеарат калью, суміш диетанол аміну та олеїнової кислоти [10]. Проведені стендові та експлуатаційні дослідження показують, що робота дизеля на етанольмісних паливах дозволяє зменшити витрату дизпалива до 17,5 – 19 % [11]. У відпрацьованих газах зменшується вміст чаді на 11 – 72%, а оксидів азоту - на 15 – 75 % в порівнянні з роботою на чистому натовому дизельному паливі [12].

1.4. Розв'язання проблеми застосування бензиново-спиртових сумішей може відбуватися двома шляхами: додавання до сумішей стабілізаторів, які запобігають розшаруванню компонентів [13] або застосування абсолютного етилового спирту, в якому гранично відсутній водний компонент, який спричиняє розшарування суміші [14]. Для запобігання введення додаткових речовин та покращення екологічних характеристик палива перспективним є застосування абсолютного етилового спирту. Оскільки бензин розчиняється в спирті, а не навпаки, то зменшення кількості спирту в системі негативно впливає на її стабільність. Відомі роботи по дослідженню залежності стабільності

етанольно-бензинових сумішей від ступеню абсолютизації етанолу та його від його кількісного вмісту [15,16].

1.5. Світове споживання сумішевих спиртових палив на основі етанолу постійно зростає. Деякі експерти вважають, що до 2020 року щорічне виробництво етанолу досягне 120 млрд літрів на рік [17-18]. Для здешевлення отримання спиртових палив розроблений спосіб, в якому поєднані процеси ректифікації браги та випаровування спиртових та вуглеводневих сумішей. В спиртовій колоні спільно переробляються пари бражного дистиляту та бензину, що дозволяє мінімізувати вміст води в спиртовому паливі. Такі бензини отримали назву бензаноли або газохолі [19-21].

2. Композиційні палива з додаванням рослинних олій та їх переестерифікованих форм

2.1. Іншим напрямком застосування кисню вмісних добавок є застосування природних олій та продуктів їх переробки. Використання олій в якості заміників дизельного палива вивчалось багатьма дослідниками [22, 23], незважаючи на відмінність олій за певними характеристиками від дизельного палива, зокрема, нижчу теплотворну здатність, більшу густину та в'язкість, що може спричинити так звані стук двигуна, затримку запалення та утворення відкладів у камері згорання [24, 25].

У роботі авторів цієї статті [26] зазначено, що зі збільшенням кількості карбону у співвідношенні С:Н зростає тривалість затримки запалення, що впливає на процес згорання олій у двигуні. Проте, модифікування олій шляхом нагрівання покращує їхні властивості та усуває вплив на характеристики згорання шляхом зменшення густини, в'язкості та поверхневого натягу олій [27, 28]. Важливою перевагою використання олій є зменшення емісії нітроген - та, особливо, сульфур - оксидів [29,30]. У зв'язку з наявністю певних негативних наслідків для двигуна при роботі на чистих оліях та потребою їх модифікації велика кількість досліджень присвячена вивченню властивостей сумішей олій та дизельного палива. Для приготування таких сумішей використовують широкий асортимент рослинних олій як сирих, так і відпрацьованих: лляна, пальмова, соняшникова, кукурудзяна, соєва, ріпакова тощо [31,32]. Використання сумішей, які містять від 20% до 70% соєвої олії спричиняє нерівномірну роботу двигуна та засмічення фільтрів. У результаті проходження термічної обробки суміші з відпрацьованою соєвою олією набувають подібних фізико-хімічних властивостей до дизпалив. Але

екологічні показники використання таких сумішей в якості палива набагато кращі, ніж показники чистих дизельних палив [33, 34]

2.2. Суміші соняшникової олії, які містять 50% олії спричиняють значне утворення накипів, які пошкоджують двигун. Проте, якщо суміш містить 20% олії та 80% дизелю, то відкладення незначні, що не призводить до втрати потужності двигуна. На таких сумішах доцільною є короткострокова експлуатація двигуна. При вмісті 5% олії в суміші не спостерігається значних відмінностей в роботі двигуна у порівнянні зі звичайним дизельним паливом [26]. Нещодавні дослідження сумішей, які містять лляну олію показують на добрі результати за емісією шкідливих речовин у відпрацьованих газах, а експлуатація двигунів на сумішах, які містять 20 – 25% лляної олії не спричиняє пошкоджень двигуна. 10%-ві суміші за фізико-хімічними властивостями та експлуатаційними характеристиками не відрізняються від дизельного палива [35-39].

2.3. Суміші дизпалива з 5 - 10% кукурудзяної олії також знижують емісію оксидів нітрогену та сульфору і оксиду карбону (II) та можуть бути використані при експлуатації двигунів внутрішнього згорання, оскільки майже не відрізняються від дизпалива за властивостями [40,41]. Високі характеристики при короткостроковій роботі двигуна виявили суміші дизпалива та пальмової олії, але при довгій експлуатації двигуна з'являються відкладення та пошкоджується інжекторна система впрыску палива [42].

2.4. Велика кількість наукових робіт присвячена сумішам дизпалива з ріпаковою олією, в тому числі авторів цієї статті [43]. В роботах авторів [44-46] зазначено, що найефективнішим є використання сумішей, які містять не більше 20% ріпакової олії. Застосування цих сумішей знижує викиди найбільш значимих токсичних компонентів відпрацьованих газів, а ККД двигуна та розхід палива змінюються в межах 2%, що є допустимим. Отже, найоптимальнішим є використання сумішей, які містять до 10% рослинних олій. В результаті температурної обробки суміші з відпрацьованими оліями показують кращі результати. Такі суміші не відрізняються від дизпалива за густиною, в'язкістю, температурою згорання, фільтрувальною здатністю та не суттєво впливають на потужність двигуна та витрату палива. Основною перевагою застосування олійно-дизельних сумішей є низька токсичність відпрацьованих газів [47,48], що було підтверджено авторами цієї статті в результаті аналізу якості повітря в Транс-Карпатському регіоні України [37].

2.5. Проте переестерифікована форма рослинних олій, біодизель, позбавлений цих

недоліків і має властивості близькі до властивостей дизпалив, яке підтвердили автори [49]. Як відомо [50] традиційний процес отримання біодизелю передбачає використання каталізаторів та включає такі стадії: перестерифікація, розділення на фракції, сепарація естерової та гліцеринової фаз, фільтрування та відгонка залишкового спирту. Процес переестерифікації рослинних олій нижчими аліфатичними спиртами є каталітичним. Каталізатори можуть бути лужними, кислотними або ферментативними [51], причому лужні каталізатори мають більшу реакційну здатність, а процес переестерифікації може відбуватися за змішаним йонно-радикальним механізмом [52].

2.6. На сьогодні поширеними є технології як на основі гомогенного лужного так і кислотного каталізу. В якості гомогенного каталізатора зазвичай використовують розчини гідроксидів лужних металів [53-56], концентровані розчини сильних кислот - мінеральних кислот (сульфатної та соляної) або алкілбензолсульфокислоти [57]. Проте застосування в якості каталізаторів мінеральних кислот вимагає вищих температур проведення реакції та робить процес довготривалишим. Залишки таких каталізаторів є корозійно - агресивними до деталей двигуна [58]. Застосування гетерогенного каталізу дозволяє виключити стадію нейтралізації залишків лугів чи кислот в розчинах, але процес протікає в більш жорстких умовах (200 – 300 ° С та тиску до 20 атм), а деякі каталізатори досить швидко втрачають активність та потребують регенерації [59]. Прикладом твердих гетерогенних каталізаторів є попередньо зневоднений цеоліт типу А в лужній формі (Li, Na, K). Як стверджують автори [60] при кількості каталізатора 1 – 1,5%, температурі 350 - 400 ° С та мольному співвідношенні олія : спирт 4:1 реакція триває 24 год., а ступінь конверсії олії становить 96%. Очевидно, що такий великий час проведення реакції є суттєвим недоліком, цього процесу.

2.7. Використання змішаного каталізатора WO_3/ZrO_2 в реакції переестерифікації метанолом за температури 250 ° С, при молярному співвідношенні метанолу до олії 40:1 також потребує 20 год. проведення реакції для досягнення конверсії олії на рівні 90% [61-64]. Основні гетерогенні каталізатори, такі як CaO [65], MgO [66] та нано-MgO [67], застосовувалися в надкритичній переестерифікації для того, щоб зменшити початкові параметри. Результати застосування цих каталізаторів показують суттєвий вплив температури на вихід та час реакції.

2.8. Біодизель без сумніву має низку переваг над традиційним нафтовим дизельним паливом: безпечність, нетоксичність, здатність біорозкладатися, в кілька разів менша кількість

шкідливих речовин у відпрацьованих газах та можливість використання в звичайних дизельних двигунах. Інші переваги включають потенційне використання поновлюваного палива, вищі цетанові числа та кращі лубрикативні властивості. До недоліків біодизелю відносять його низьку енергоємність, що приводить до втрати потужності майже на 5-10% та зміна густини і в'язкості при тривалому зберіганні, що призводить до засмічення паливних фільтрів [68]. У зв'язку з цим широкого застосування набули суміші біодизеля з дизпаливом. Автори [69] тестували суміші B10, B20 і B0 (чистий біодизель). Результати досліджень показали відповідність цих сумішей стандартам ASTM D 6751. При чому спостерігалася чітка залежність між зменшенням викидів та вмістом біодизелю в суміші: при використанні B10 кількість викидів зменшувалася на 9,21%, а при використанні B20 – на 23,68%.

2.9. У роботі [70] встановлено, що зі збільшенням вмісту біодизелю в сумішах змінюється густина, в'язкість, калорійність, температури спалаху, помутніння та фільтруємість. Оптимальний вміст біодизелю на основі метилових ефірів повинен становити менше 20% для того, щоб суміш відповідала стандартам ASTM D 6751 та EN 14214. Також виявлено вплив складу жирнокислотних залишків на низькотемпературні властивості. Нівелюється цей вплив лише при низькому вмісті (10-20%) біодизелю в суміші [71]. Загалом суміші біодизелю з дизельним паливом мають кращі властивості як в порівнянні з чистим біодизелем, так і в порівнянні з нафтовим дизелем. Особливо це стосується екологічних показників, адже сильно зменшується димність відпрацьованих газів. Важливим недоліком використання таких сумішей є збільшення рівня викидів оксидів азоту, що на думку авторів [72] можна зменшити регулюванням кута випередження впорску палива.

2.10. Гліцерин, який залишається у результаті синтезу біодизелю є побічним продуктом і представляє технологічну проблему для виробників біодизелю. Останнім часом проводяться дослідження у напрямку етерифікації залишкового гліцерину та вивчення характеристик ефірів гліцерину в якості оксигенгенеруючих додатків до палива [72-74]. Етери гліцерину при додаванні їх до сумішей олій з дизельним паливом, знижують в'язкість та покращують низькотемпературні властивості цих сумішей [75]. Також ці сполуки вважають високоякісними добавками, які можуть бути використані як самостійне паливо або у сумішах з біодизелем [76,77]. Перспективними в якості додатків до моторних палив є, не лише прості ефіри, а і його ацеталі. Вони мають здатність покращувати властивості моторних палив,

наприклад, золькеталь має високе октанове число змішування. Додавання лише 10% золькеталю піднімає октанове число бензини на 9,4 одиниць [78].

Висновки

1. Спиртові палива мають багато переваг, зокрема володіють високим октановим числом та меншою кількістю шкідливих викидів. Основним недоліком даних палив є їхня нестабільність. Проте, застосування емульгаторів та абсолютного етанолу в цих паливах дозволяє усунути цей недолік.

2. Рослинні оливи можуть бути застосовані в якості добавок до дизельного палива лише в кількостях, що не перевищують

5% та при низьких навантаженнях, в іншому випадку вони викликають пошкодження двигуна.

3. Біодизель, синтезований на основі рослинних олій має значно кращі експлуатаційні та екологічні показники, але його застосування призводить до зменшення потужності двигуна. Тому, застосування сумішевих дизельних палив на основі біодизелю є найбільш ефективним.

4. Гліцерин, який залишається після синтезу біодизелю за певних умов може бути підданий етерифікації та використаний в якості добавки до палива. Суміші дизпалива з етерами гліцерину мають подібні характеристики до дизельних палив.

Список використаних джерел інформації

1. Експлуатаційні властивості альтернативних моторних палив на основі оксигенатів / Полункин С. В. та ін. *Каталіз и нефтехимия*. 2012. №20. С. 70 – 74.
2. Вплив добавок аліфатичних спиртів на властивості бензинів: аналітичний огляд / Бойченко С. В. та ін. *Наукоємні технології*. 2015. №1 (25). С. 86 – 92.
3. Черняк Л. М., Бойченко С. В., Нешта М. В. Порівняльна характеристика випаровуваності бензинів з різними вмістом оксигенатів. *Наукоємні технології*. 2014. №4(24). С. 526 – 531.
4. Карташевич А. Н. Основные принципы и расчетные соотношения теоретических исследований процесса сгорания спиртосодержащих топлив в дизеле. *Вестник ВГСХА*. 2007. №2. С. 145-149.
5. Карташевич А. Н., Плотников С. А. Алгоритм расчета цетанового числа и периода задержки воспламенения при работе дизельного двигателя на спиртовых топливах. *Вестник ВГСХА*. 2007. №4. С. 108-112.
6. Изучение свойств и разработка возобновляемых источников энергии на основе этанола/ Карташевич А. Н. и др. *Наука-Технология-Ресурсосбережение: материалы межд. научно-практ. конф.* 2016. Киров, ВГСХА. 2016. Вып. 17. С. 120 – 123.
7. Плотников С. А., Смольников С. А. Создание новых видов альтернативных топлив на основе этанола. *Общество, наука, инновации*. Всерос. ежегод. научно-практ. конф.: сбор. статей, 18-19 апреля 2016. Вят. гос. ун-т. Киров, 2016. С. 1358 – 1362.
8. Топливная эмульсия: пат. 2554348 Российская Федерация: МКИ С10L 10/08/ С; заявл. 04.12.2012. Бюл. №18.
9. Топливная эмульсия: пат. 2221839 Российская Федерация. МПК С10L 1/32; заявл. 23.10.202; опубл. 20.01.2004. Бюл. № 1.
10. Карташевич А. Н., Плотников С. А., Гурков А. Н. Применение этанолсодержащих топлив в дизеле. Часть I. Киров. Типография «Авангард», 2011. 116 с.
11. Рібун В. С., Федорченко С. В., Курта С. А. Властивості моторного палива аз активаторами згорання. *Вісник Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Серія хімія*. 2015. Вип. 19. С. 93 – 99.
12. Sreenivasa T. N., Harinikumar K. M., Sathianarayana A. Study of water tolerance in hydrous ethanol-gasoline blends. *Carbon – Science and technology*. 2016. V8, №3. P. 1 – 7.
13. Influence of ethyl acetate addition on phase stability and fuel characteristics of hydrous ethanol – gasoline blends / Manal Amine, Ezis N. Awad, Ibrahim V., Bakarar Y. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2018. V. 27. P. 1333 – 1336.
14. Starchevsky V., Ribun V., Kurta S., Khatsevich O. Properties and composition of absolutized by chemically ethanol and their effect on the gasoline octane number. *Chemistry and chemical technology*. 2018. Vol. 8 (№3). P. 346 – 354.
15. Братичак М. М., Баб'як Л. В. Моторні палива з альтернативної сировини: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 144с.
16. Abdullah Ali Ahmed, Ahmed M. El – Marsy, Bakarar Y. Azeotrope formation in gasoline – ethanol blends. Part I – Impact of nonionic on E10 distillation. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2018. V. 27. P. 1167 – 1175.
17. Уминський С. М., Чучуй В. П., Інютін С. В. Альтернативні палива з біомаси. Вид-во ТЕС, 2014. 375 с.

18. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: монографія / Адаменко О., Височанський В., Лотко В., Михайлів М. Івано – Франківськ: ІМЕ, 2001. 432 с.
19. Перспективність технологи производства бензола на базе достигений спиртовой промышленности / Е. Н. Константинов и др. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2009. № 2 – 3. С. 57 - -59.
20. Ачегу З. А., Короткова Т. Г., Константинов Е. Н. Совершенствование системы получения этанола для добавки в моторное топливо. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2009. №5. С. 105 – 106.
21. Huang S., Lin T., Lee M. On gasohol production by extracting alcohol with gasoline. *Advances in Engineering Research: proceedings of the 2016 2nd International Conference on Advances in Energy, Environment and Chemical Engineering (AEECE)*. 2016.
22. Mistra R. D., Murthy M. S. Straight vegetable oil usage in a compression ignition engine – e review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. V. 14. P. 3541 – 3613.
23. Sidibe S. S., Blin J., Azoumah Y. Use of grude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines, state of art: literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. V. 14. P. 2748 – 2759.
24. Altin R., Getinkaya S., Husein S. Y. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engine. *Energy Conversion and Menagement*. 2001. V. 42. P. 519 – 538.
25. Corsini A., Marchegiana A., Rispoli F., Sciulli F., Venturini D. Vegetable oils as fuels in diesel engine. Engine Performance and Emissions Energy Procedia 81:Proceedings of the 69th Conference of the Italian Thermal Mashines Enginiring Assotiation, ATI 2014. 2015. V. 81. P. 942 – 949.
26. Kurta S., Ribun. V. The properties o diesel fuel with additives basedon vegetable oils. *Open Access Peer Journal. Science Review*. 2017. V. 7. P. 4 -8.
27. Hellier P., Ladomatos N.,Yusaf T. The influence of straight vegetable oil fatty acid composition on compression combustion and emissions. *Fuel*. 2015. V. 143. P. 131 – 143.
28. Esteban B., Riba J-R., Baquero G., Rius A., Puig R. Temperature depende of density and viscosity of vegetable oils. *Biomass and bioenergy*. 2012. V. 42. P. 164 – 171.
29. Nazal I. T. Experimental study of vegetable oil-diesel blends on performance of compression ignition engine. *Ahbar Journal of Engineering Sciences*. 2011. V. 4, №2. P. 33 – 44.
30. Battacharyya S., Redddy S. Vegetable oil fuels for internal combustion engines. A review. *Journal of Agricultural Engineering Reseaarch*. 1994. V. 57, №3. P. 157 – 166.
31. Марков В. А., Девянин С. Н., Каськов С. Н. Оптимизация состава смесей нефтяного дизельного топлива с растительными маслами. *Известия высших учебных заведений*. 2016. №7. С. 28 – 44.
32. Wagner E. P., Lambert P. D., Moyle T. M., Koenle M. A. Diesel vehicle performance on unaltered waste soybean oil blended with petroleum fuels. *Fuel*. 2013. V. 107. P. 757 – 765.
33. Марков В. А., Девянин С. Н., Няянева М. В. Соевое масло как топливо для двигателей. *Автозаправочний комплекс + альтернативное топливо*. 2016. Т. 2. С. 20 – 38.
34. Sigh M., Bhattacharya T. K. Exhaust emission studies of diesel and soybean oil blends as CI engine fuel. *Indian Journal of Hill Farming*. 2010. V. 23, №2. P. 19 – 24.
35. Ziejewski M., Kaufman K., Tupa R. Laboratory endurance testing of 25/75 sunflower oil-diesel fuel blend treated with fuel additives. SAE Technical paper 840232. 1984. <https://doi.org/10.4271/840256> (дата звернення 28.01.2019).
36. Beck A., Hanesok J., Krar M. Application of sunflower oil with high oleic content and their derivatres as fuels for diesel engines. URL: folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings (дара звернення 28.01.2019).
37. Kurta S., Mykytyn I., Voronych O., Ribun V. Monitoring Ambient Air Quality in the Carpathian Region of Ukraine. *Journal Chemistry and Chemical Engineering*. 2018. V. 12. P. 31-37.
38. Knorr W., Daufe P., Grutzmacher R., Hofer R. Development of new fields of application for linseed oil. *Felt Wissensehaft Technology*. 1995. V.97, №5. P. 165 – 169.
39. Марков В. А., Девянин С. Н., Трифонов В. Л. Смесевое биотопливо с добавками льняного масла для дизельных двигателей. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2015. №7. С. 34 – 44.
40. Markov V. A. Petroleum diesel fuel and linseed oil mixtures as engine fuels. *Journal of Physics: Conference Series*. V. 944. P. 1 – 8.
41. Markov V. F., Kataltdinov V. G., Loboda S. S. Optimization of diesel fuel and corn oil mixtures composition. *Proceedins of the International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016*. V. 150. P. 225 – 234.
42. Kus R. The effect of raw corn oil and diesel fuel mixture on engine performances and emissions. *Energy and EducationalScience and Research*. 2011. V. 28, №1. P. 469 – 474.
43. Viktoriia Ribun, Sergey Kurta, Taras Gromovy. The Improvement of Synthesis Technology of Oxygen-generating Additives to Diesel Fuel. *Proceedings of the Conference Energy and Fuels 2018*. AGU UST, Cracow University of Technology, Krakow, September 19th-21th, 2018.
44. Марков В. А., Стремяников А. В., Девянин С. А. Работа транспортного дизеля на смесях дизельного топлива и рапсового масла. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия машиностроение*. 2010. № 1. С. 87 – 101.
45. Labeski L., Cairns A., Xia J., Megaritis F., Hao H., Ganippa L. Combustion and tmission of rapeseed oil blends in diesel engines. *Applied Energy*. 2012. V. 95. P. 139 – 146.

46. Hazar H., Aydin H. Performance and emission evaluation of a CI engine fuelled with preheated raw rapeseed oil RRO – diesel blends. *Applied Energy*. 2010. V. 87, № 3. P. 786 – 790.
47. Dukulis I., Birkavs A., Birsietis G. Investigation of flowability of rapeseed oil and diesel fuel blend in winter conditions. *Research Papers of Lithuanian University of Agriculture*. 2010. V. 42, № 2 - 3. P. 204 – 213.
48. Результаты определения оптимального соотношения компонентов биодизельного топлива при условии обеспечения низкотемпературных свойств и цетанового числа/О. Н. Дидманидзе. *Технический сервис в АПК. Вестник*. 2016. №5. С. 30 – 35.
49. Рібун В. С., Курта С. А., Громовий Т.Ю., Хацевич О.М. Удосконалення технології синтезу та властивості біодизельного палива. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2018. Т. 19, №3 С. 258-269
50. Систер В. Г., Иванникова Е. М., Ямчук А. И. Технология получения биодизельного топлива. *Известия МГТУ*. 2013. Т.2, №3 (17). С. 109 – 112.
51. Singh S. P., Singh D. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. V. 14. P. 200 – 216.
52. Ранський А. П., Гордієнко О.А., Євсєєва М. В. Каталіз реакцій переестерифікації природних тригліцеридів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2014. №5. С. 76 – 82.
53. Спосіб одержання біодизельного палива етанольною естерифікацією жирів: пат. 35913 Україна: МПК С 10 L 1/00, С 07С 69/00. № и 200805501; заявл. 29.04.2008; опубл. 10.10.2008, Бюл. №19.
54. Спосіб одержання біодизельного палива етанольною переестерифікацією жирів: пат. 88409 Україна: МПК С 10 L 1/02, С 07С 67/02, С 07С 67/03, С 11С 3/00, С 07С 69/003 . № а 200805503; заявл. 29.04.2008; опубл. 12.10.2009, Бюл. №19.
55. Спосіб одержання етилових естерів жирних кислот: пат. 77363 Україна: МПК С 07С 67/02, С 07С 69/00. № а 200509935; заявл. 21.10.2005; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11.
56. Calcium methoxide as a solid based catalyst for the transesterification of soybean oil to biodiesel with methanol/X. Lui et al. *Fuel*. 2008. V. 87. P. 1076 – 1087.
57. Спосіб одержання біодизельного палива у вигляді етилових ефірів олій та жирів: пат. 65058 Україна: МПК С 10 L 1/19. № и 201105331; заявл. 26.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. №22.
58. Synthesis of biodiesel via acid catalysis/E/ Loeto et al. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2005. V. 44, №14. P. 5353 – 5363.
59. Разработка процесса переработки рапсового масла в биодизель и высокоцетановые компоненты дизельного топлива/ С. В. Говорухин и др. *Химия и технология топлив и масел*. 2010. №1. С. 3 – 7.
60. Спосіб одержання біодизельного палива у вигляді етилових ефірів олій та жирів: пат. 65058 Україна: МПК С 10 L 1/19. № и 201105331; заявл. 26.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. №22.
61. Synthesis of biodiesel via acid catalysis/E/ Loeto et al. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2005. V. 44, №14. P. 5353 – 5363.
62. Разработка процесса переработки рапсового масла в биодизель и высокоцетановые компоненты дизельного топлива/ С. В. Говорухин и др. *Химия и технология топлив и масел*. 2010. №1. С. 3 – 7.
63. Спосіб одержання біодизельного палива шляхом переестерифікації тригліцеридів етанолом на каталізаторі: пат. 98281 Україна: МПК С 10 L 1/02, С 07С 67/02, С 07С 67/03, С 07С 69/003 .№ а 201108659; заявл. 11.07.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. №8.
64. Furuta S., Matsushashi H., Arata K. Biodiesel fuel production with solid superacid catalysis in fixed bed reactor under atmospheric pressure. *Catalic Commun*. 2004. V. 5. P. 721 – 723.
65. Demibras A. Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics. *Energy conversation Manage*. 2007. V. 47. P. 2270 – 2282.
66. Demibras A. Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. *Energy Conversation Manage*. 2008. V. 50. P. 923 – 927.
67. Wang L., Yang J. Transesterification of soybean oil with nano-MgO or not in supercritical and subcritical methanol. *Fuel*. 2007. V. 86, №3. P. 328 – 333.
68. Firoz S. A review: Advantages and disadvantages of biodiesel. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2017. V. 4, № 11. P. 530 – 533.
69. Properties and use of Moringa oleifera biodiesel / M. Mojufur et al. *Energy Conversion and Management*. 2014. V. 82. P. 169 – 176.
70. Study on the characteristics of palm oil biodiesel fuelblend / R. El. – Araby. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2018. V. 27. P. 187 – 194.
71. Overview Properties of Biodiesel Diesel blends from Edible and Non-edible Feedstock / A. S. Silitonga et al. *Renewable and Sustainable Energy. Reviews*. 2013. V. 22. P. 346 – 360.
72. The Effect of Biodiesel Fatty Acid Composition on Combustion and Diesel Engine Exhaust Emissions / S. Pinzi. *Fuel*. 2013. V. 104. P. 170 – 182.
73. Technology for energetic exploration of biodiesel chain derived glycerol: Oxy-fuels production by catalytic conversion / C. Beatrice. *Applied Energy*. V.102. P. 63 – 71.
74. Viswanadham N., Saxena S. K. Etherification of glycerol for improved production of oxygenates. *Fuel*. 2013. V. 103. P. 980 – 986.

75. Glycerol from biodiesel production: Technological paths for sustainability. / M. N. Monteiro. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. V. 88. P. 109 – 122.
76. Rahman N., Abdula A. Z., Mohamed A. K. Recent progress on innovative and potential technologies for glycerol transformation into fuel additives: critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. V. 14. P. 987 – 1000.
77. Heterogeneous catalytic conversion of glycerol to oxygenative fuel additives / V. O. Samoilo. *Fuel*. 2016. V. 172. P. 310 – 319.
78. А. Л. Максимов, Аю Ию Нехаев, Дю Нью Рамзановю Простые эфиры и ацетали – перспективные продукты нефтехимии из возобновляемого сырья (Обзор). *Нефтехимия*. 2015. Т. 55, № 1. С. 3 – 24.

Курга С.А. – доктор технічних наук, професор кафедри хімії;

Рібун В. С. – магістр, здобувач наукової ступені по кафедрі хімії.