

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАУКОВА РОБОТА

**для участі у Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт з
галузей знань і спеціальностей**

**«Екологічно безпечні біодизельні палива на основі альтернативних видів
рослинних олій»**

Шифр роботи – «Рижисвий біодизель»

2019-2020 н.р.

Анотація

на наукову роботу під шифром «Рижієвий біодизель»

Робота присвячена дослідженню фізико-хімічних, екологічних та експлуатаційних властивостей біодизельних палив. Проведено порівняльний аналіз зразків біодизельних палив на основі метилових і етилових ефірів ріпакової і рижієвої олії. Сформульовано і наведено переваги використання рижієвої олії перед ріпаковою, як альтернативи для виробництва біодизельного палива. Показано, що фізико-хімічні та експлуатаційні властивості зразків досліджених біопалив на основі рижієвої олії, повністю задовольняють вимоги стандартів на біодизельне паливо. Використання відновлюваної рослинної сировини, що не становить конкуренції харчовій галузі та не виявляє коротко- або довгострокової загрози навколишньому середовищу, тобто отримання та використання якої є сталим. Одним з таких видів сировини, зокрема, є рижієва олія. В результаті проведеного дослідження зроблено висновок, що рижієва олія може бути ефективно використано для виробництва біодизельного палива, а саме використано для повної або часткової заміни традиційного нафтового дизельного палива.

Мета роботи: обґрунтувати можливість та доцільність використання рижієвої олії для одержання біодизельних палив із задовільними фізико-хімічними та експлуатаційними властивостями.

Об'єкт – одержання біодизельних палив на основі етилових естерів рижієвої олії

Предмет – фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики біодизельних палив на основі етилових естерів рижієвої олії

Наукову роботу викладено у трьох розділах на 33 сторінках, 11 рисунках, 5 таблицях; використано наукових джерел – 30.

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

План

Вступ	5
Розділ I. Актуальність виробництва та використання біодизельних палив в Україні	6-13
1.1. Передумови розвитку біопаливної галузі	6
1.2. Виробництво та використання біодизелю в Україні	8
1.3. Нормативно-правова база щодо використання біодизельного палива	11
Розділ II. Вибір оптимальної сировини для виробництва біодизельних палив	14-19
2.1. Сировина база для виробництва біодизельного палива	14
2.2. Характеристики основних олійних культур як сировини для виробництва біодизельного палива	16
Розділ III. Фізико-хімічні, експлуатаційні та екологічні властивості біодизельних палив на основі рижевої олії	20-28
3.1. Порівняльна характеристика технології виробництва показників якості біодизельного палива з використанням різних спиртів	20
Висновки.....	27
Список використаної літератури.....	28

Вступ

Світ вступив у нову енергетичну епоху, що характеризується підвищенням потреб у паливі. 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 та зменшити шкідливий вплив на довкілля.

Україна належить до країн, що мають дефіцит власних енергоносіїв і можуть забезпечити свої потреби у енергоносіях лише на 53 %, а в нафті – на 10–12 %, в природному газі – до 30 %, що створює загрозу енергетичній безпеці країни. Одним з основних напрямів розвитку автотранспортної та паливно-енергетичної галузей є розроблення та упровадження альтернативних моторних палив з власних відновлювальних ресурсів, зокрема біодизельних палив.

Для України вже достатньо традиційним є використання біодизельного палива на основі рослинних олій, у першу чергу ріпакової олії. Однак, сьогодні через низку об'єктивних причин існує потреба у розширенні сировинної бази олій. На сьогодні однією з найперспективніших альтернативних олійних культур для виробництва біодизельного палива є рижій посівний (*Camelina sativa L.*) [1, 2]. Культура рижію має низку переваг: є невибагливою до якості ґрунтів, кліматичних умов, стійкою до шкідників та хвороб, короткий період вегетації сприяє також вирощуванню рижію як проміжної культури в післяукісних посівах [3]. Окрім того, вирощування рижію не призводить до інтенсивного виснаження родючих земель.

Зважаючи на наведене вище, цілком очевидним є, що вирощування рижію як сировини для виробництва біопалив матиме низку переваг у порівнянні з іншими сільськогосподарськими культурами, що використовуються сьогодні. Таким чином, вивчення і розгляд основних властивостей біодизельного палива на основі рижієвої олії є вельми актуальним науково-прикладним завданням.

Розділ 1.

Актуальність виробництва та використання біодизельних палив в Україні

1.1. Стан розвитку біопаливної галузі

Враховуючи стрімкий розвиток технологій, сьогодні у світі існує велике різноманіття альтернативних моторних палив. Значного поширення набули біопалива; у першу чергу завдяки можливості подолання невпинної зміни клімату, спричиненої викидами вуглекислого газу та зменшенню залежності від нафтових ресурсів. Протягом останніх десятиріч вчені досліджують можливості використання різноманітних видів біомаси з метою їх переробки на біопалива [4].

На рисунку 1.1 показано частку біомаси у загальному обсязі кінцевого енергоспоживання за сектором кінцевого використання станом на 2015 рік [5].

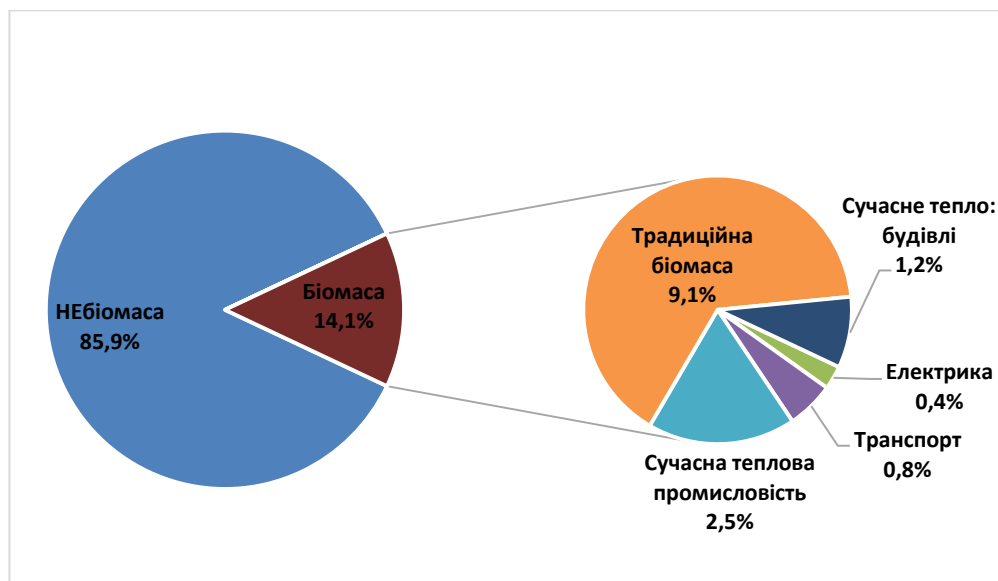


Рис. 1.1. Частка біомаси у загальному обсязі кінцевого енергоспоживання за сектором кінцевого використання, 2015 [5]

Очевидно, що різні види сировини значно відрізняються один від одного, у перш чергу за хімічною природою: лігноцелюозна біомаса, біомаса з високим вмістом жирів (рослинні олії, тваринні жири), біомаса з високим вмістом цукрів та крохмалю (картопля, кукурудза, цукрові буряки, та ін.).

Існуюче сьогодні різноманіття технологій переробки біомаси відповідно до складності та ступені зрілості технології прийнято класифікувати за поколіннями (рис. 1.2) [6].

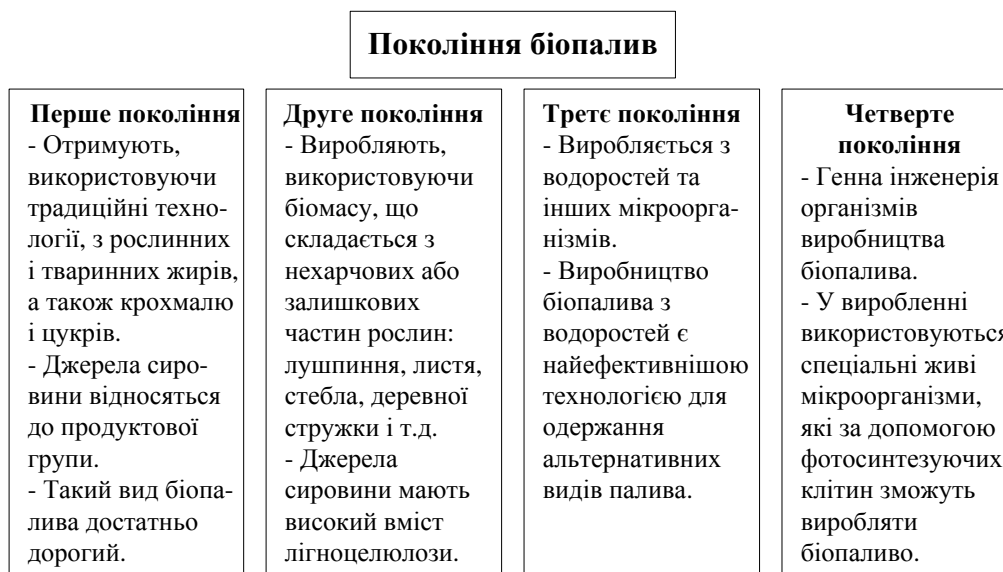


Рис. 1.2. Покоління біопалив

Біопаливо першого покоління отримують, використовуючи традиційні технології з рослинних і тваринних жирів, а також крохмалю і цукру. Здебільшого джерела сировини відносяться до продуктової групи, що викликає хвилю критики, так як виробництво біопалива скорочує кількість продуктів і викликає зростання їх вартості. Інший недолік – такий вид біопалива достатньо дорогий, для його виробництва потрібна додаткова підтримка (субсидування) держави.

Біопаливо другого покоління отримують різними методами піролізу біомаси, або інші палива, відмінні від метанолу, етанолу, біодизельного палива. Основною відмінністю біопалив другого покоління – є використання нових видів сировини, що у першу чергу не становлять конкуренції харчовій галузі та не виснажують родючі землі.

Біопаливо третього покоління отримують у результаті перероблення водоростей. Водорості – високопродуктивна і одночасно – дешева сировина. З одного гектара водоростей можна отримати в 30 разів більше енергії, ніж з

гектара сої. Проблемним є питання відведення площ, на яких буде проводитися вирощування водоростей у промислових масштабах.

Біопаливо четвертого покоління відносять до новітніх досягнень у виробництві біопалива. Для його одержання використовують спеціальні мікроорганізми, що за допомогою фотосинтезуючих клітин виробляють біопаливну сировину протягом певного часу (точніше кілька циклів фотосинтезу). Для забезпечення життєдіяльності мікроорганізми будуть використовувати вуглекислий газ [4-7].

Одним з найбільш поширених у світі видів біопалива сьогодні вважається біодизельне паливо, що розглядається як альтернатива нафтовому дизельному паливу для двигунів внутрішнього згорання [8].

1.2. Виробництво та використання біодизелю в Україні

Україна щорічно споживає близько 200 млн. т. паливно-енергетичних ресурсів і відноситься до енергодефіцитних країн, через те, що покриває свої потреби в енергоспоживанні приблизно на 53 % і імпортує 75 % необхідного обсягу природного газу та 85 % сирової нафти і нафтопродуктів. Така структура ПЕР економічно недоцільна, породжує залежність економіки України від країн-експортерів нафти і газу і є загрозою для її енергетичної та національної безпеки [9-10]. Таким чином, залежність від імпорту нафтопродуктів, ціни на які постійно зростають, а також значне погіршення екологічної ситуації стимулює інтенсивний пошук альтернативних джерел енергії.

Ситуація, в якій знаходиться Україна, може порівнятися з тією, в якій опинилася світова спільнота в 1973–1974 рр. Сьогодні для України настала пора розвивати і власні потужності для виробництва біодизельного палива з поновлюваних сировинних ресурсів. Обмеженість в Україні традиційних енергоносіїв, зростання забруднення довкілля спонукають наукові організації до пошуків нових екологічно чистих видів палив. Одним із таких напрямів є виробництво дизельного палива з рослинної олії.

В нашій державі є всі передумови для виробництва екопального. По-перше, Україна – аграрна країна. За даними Державної служби статистики, у 2017 році під зернові та зернобобові культури було відведено 14,6 млн га земель, під технічні 14,6 млн га, під кормові – 1,8млн га [10, 11].

Завдяки своєму географічному положенню Україна має сприятливі кліматичні умови для вирощування широкого спектру різних видів альтернативних палив, як рідких так і газових. Сировинною базою для виробництва біодизеля слугує насіння олійних культур. Статистика вирощування олійних культур в Україні представлена на рисунку 1.3 [12].

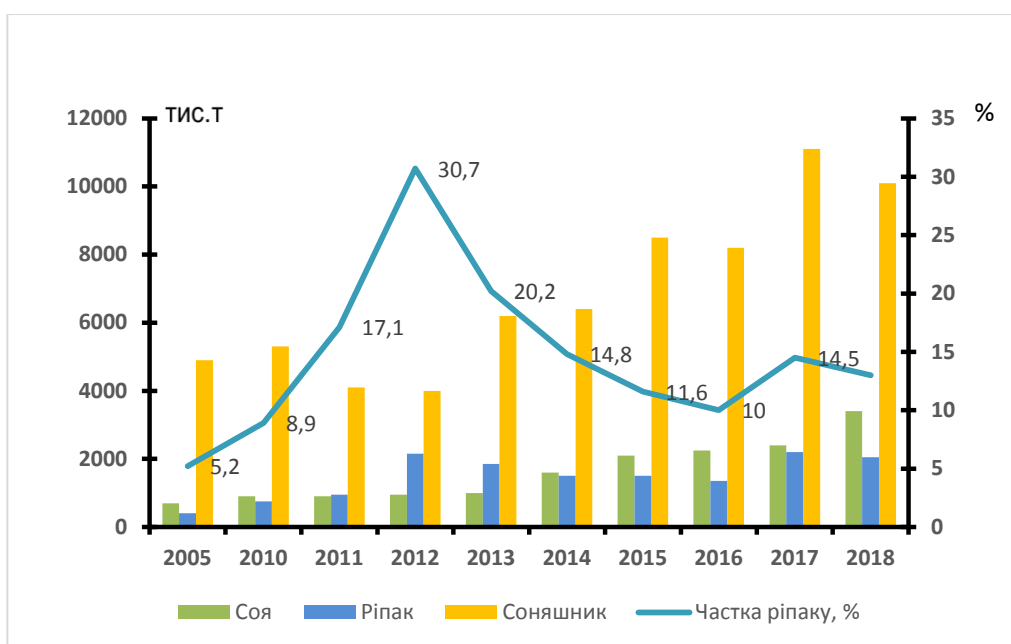


Рис. 1.3. Виробництво насіння олійних культур в Україні, тис. т. [12]

Економічна доцільність виробництва біодизельного пального передбачає співставлення ефективності різних варіантів використання та переробки сільськогосподарської продукції, враховуючи рівень цін на нафту, мінеральне дизельне паливо тощо.

Проблема виробництва біодизельного палива є досить актуальною для України, тому що після затвердження постановою Кабінету Міністрів України від 22 грудня 2006 р. № 1774 «Програми розвитку виробництва дизельного біопалива» дедалі більша частина вітчизняних орних земель почала виділятися

під посіви озимого ріпаку, олія якого в основному зараз використовується як сировина для виробництва біодизельного палива. Хоча термін реалізації цієї постанови вже пройшов, (до 2010 року) біодизельного палива в нашій державі виробляється в дуже невеликій кількості, а основна частина виробленого ріпакового насіння експортується закордон, через те що європейські виробники добре за нього платять. Це може призвести до скорочення посівів пшениці, та інших харчових культур, якщо в Європі виросте попит на сировину для виробництва біодизельного палива та перетворення України в сировинний придаток Європи у плані постачання сировини для виробництва біопалива. В той же час, якщо виділяти 7-8 % орних земель під посіви ріпаку, та виробляти біодизель з його олії у нашій державі, то за умов середнього урожаю можна повністю задовольнити потреби України у біодизельному пальному власного виробництва. Динаміка зміни потенціалу переходу на дизельне біопаливо при переробці всього урожаю ріпаку представлена на рис 1.4 [13].

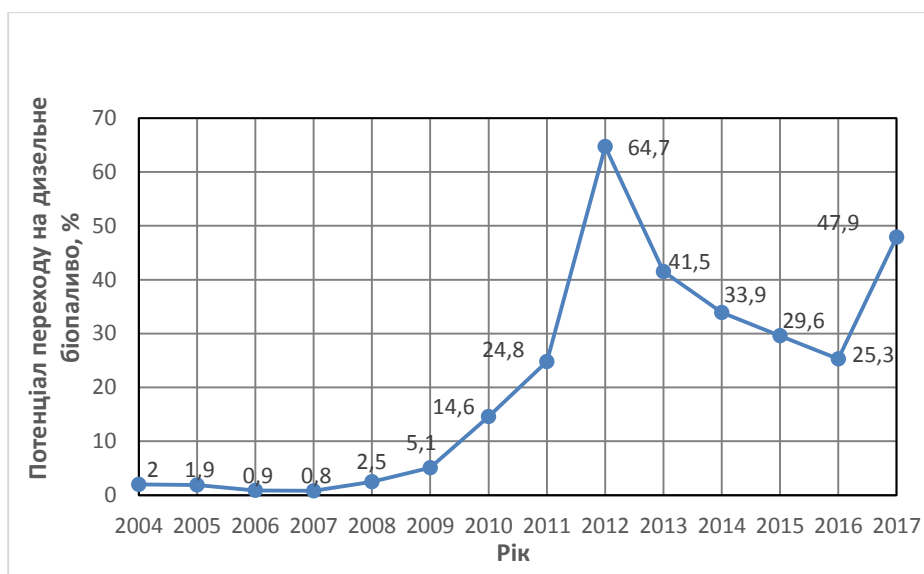


Рис. 1.4. Динаміка зміни потенціалу переходу на дизельне біопаливо при переробці всього урожаю ріпаку [13].

Отже, потенціал України в плані виробництва біодизельного палива досить великий. Найважливішою і найціннішою особливістю біодизельного палива є його відновлюваний характер, тому питання реалізації в Україні технологій виробництва біодизелю є важливими та перспективними [13].

1.3. Нормативно-правова база щодо використання біодизельного палива

Для стимулювання виробництва і використання біопалива розробляються урядові програми, які пропонують створення заводів, які переробляють жири тваринного та рослинного походження для одержання дизельного біопалива. Створюються нормативні документи, що забезпечують гармонізацію національного законодавства у сфері виробництва та використання палива з біологічної сировини із законодавством Європейського Союзу [14-15].

Так, серед основних нормативних документів, що встановлюють вимоги до якості біодизельних палив слід зазначити наступні стандарти :

- ASTM D 6751 «Standard specification for biodiesel fuel blend stock (B100) for middle distillate fuels» (Стандартна специфікація на біодизельне паливо (B100) для середньодистилятних палив);
- ASTM D 7467 (2009) «Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B6 to B20)» (Стандартна специфікація на дизельне паливо, суміш біодизельного палива (B6 – B20));
- EN 14214 (2008) «Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods» (Автомобільне паливо – метилові естери жирних кислот для дизельних двигунів – Вимоги та методи контролю),
- EN 590 (2009) «Automotive fuels - Diesel - Requirements and test methods» (Автомобільне паливо – дизельне паливо – Вимоги та методи контролю) – даний стандарт визначає вимоги до якості нафтового дизельного палива, в той же час передбачає вміст біодизелю до 7 %.

Враховуючи державну підтримку та сприяння упровадженню альтернативних моторних палив, в Україні було розроблено та упроваджено Державні стандарти на вимоги до якості біодизельного палива. Так, сьогодні його якість регламентується:

- ДСТУ 6081:2009 «Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні умови;

- ДСТУ 7178:2010 «Паливо альтернативне. Естери етилові жирних кислот олій та жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги та методи контролювання».

Окрім того, ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови» і ДСТУ 8695:2016 «Паливо альтернативне для дизельних двигунів. Технічні умови», а також Технічний регламент щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, судових і котельних палив передбачають використання метилових або етилових естерів жирних кислот у складі нафтових дизельних палив у кількості до 7% [20].

У таблиці 1.1 наведені значення основних характеристик біодизеля (B100) відповідно до вимог стандартів ЄС (EN 14214), США (ASTM 6751) та Україна (ДСТУ 6081:2009, ДСТУ 7178:2010) в порівнянні з характеристиками нафтового дизельного палива по EN 590[19].

Таблиця 1.1

Основні нормовані фізико-хімічні властивості біодизельного палива

№ з/п	Показник	EN 590	EN 14214	ASTM 6751	ДСТУ 6081:2009	ДСТУ 7178:2010
1	2	3	4	5	6	7
2	Густина (за $t=15^{\circ}\text{C}$), $\text{кг}/\text{м}^3$	820-845	860-900	-	860-900	860-900
3	Кінематична в'язкість (за $t 40^{\circ}\text{C}$), $\text{м}^3/\text{с}$	2,0-4,5	3,5-5,0	1,9-6,0	3,5-5,0	3,5-5,0
4	Температура спалаху (не нижче), $^{\circ}\text{C}$	55	101	100	120	101
5	Вміст сірки (не більше), $\text{мг}/\text{кг}$	50	10	15	10	10
6	Цетанове число (не менше)	51	51	45	51	51
7	Зольність (не більше), % мас.	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
8	Вміст води (не більше), $\text{мг}/\text{кг}$	200	500	500	500	500
9	Механічні домішки, (не більше), $\text{мг}/\text{кг}$	24	24	-	24	24
10	Вміст полінасичених	-	12	-	12	12

	ЖК (не більше), % мас.					
11	Вміст ефірів (не менше), % мас.	-	96,5	-	1	1
12	Вміст метанолу/етанолу (не більше), % мас.	-	0,2	-	0,2	0,2
13	Вміст вільного гліцерину (не більше), % мас.	-	0,02	-	0,02	0,02
14	Загальний вміст гліцерину (не більше), % мас.	-	0,25	-	0,25	0,25
15	Вміст фосфору (не більше), % мас.	-	0,01	0,001	10	4

Низку додаткових стимулів та переваг для виробників біопалива запроваджено Законом України, зокрема, продавці біопалива і обладнання для його виробництва на 10 років звільняються від сплати податку на прибуток, для моторного біопалива запроваджується нульова ставка акцизного збору та скасовується ввізне мито на обладнання для виробництва біопалива в тому числі біодизельного палива [20].

Розділ 2.

Потенціал сировини для виробництва біодизельних палив в Україні

Для отримання біодизельного палива можуть використовуватись як рослинні олії, так і тваринні жири, рідше – ефірні олії різних рослин чи водоростей, відпрацьовані фритюрні жири та інші доступні види жирівмісної сировини. Розглянемо їх детальніше.

2.1. Сировинна база для виробництва біодизельного палив

Біодизель – це паливо, що отримують з жирів рослинного або тваринного походження, в результаті естерифікації олії або жиру простим спиртом у присутності каталізатора. Таке альтернативне біопаливо призначено для використання у дизельних двигунах. Крім того, можливим є також використання рослинних олій із різноманітної сировини (ріпак, соняшник, ятрофа, та ін.) у чистому вигляді, однак властивості такого палива значно поступаються дизелю та біодизелю за своїми характеристиками [21].

В країнах Євросоюзу для виробництва біопалива в основному використовується ріпакова олія. Тому в останнє десятиліття попит і ціна на насіння ріпаку не спадає, відповідно його виробництво зростає і в 2017 р. світовий збір насіння ріпаку становив 46,5 млн т (для порівняння у 1985 році – 19 млн т) [21]. За питомою вагою у загальносвітовому виробництві олійних, ця культура вийшла на третє місце – після сої і бавовни, випередивши соняшник. Окрім ріпаку для виробництва біопалива застосовуються й інші олійні рослини. Головним чинником у виборі сировини є географічні та кліматичні умови, що притаманні території країни-виробника та є оптимальними для вирощування певної культури олійних рослин [22].

В останні роки в США та Канаді активно досліджується та успішно використовується *олія рижію*. У Мексиці для виробництва біопалива використовують пальмову олію та олію ятрофи, що вважається бур'яном та

росте на найбідніших ґрунтах. В країнах азійського регіону, таких як Індонезія, Філіппіни, Малайзія основною сировиною є пальмова олія, у Філіппінах – кокосова олія, в Індії – ятрофа; в країнах Африки – соя, ятрофа; в Бразилії – касторова олія [22].

В умовах України основною сировиною для виробництва біодизельного палива прийнято вважати наступні культури: ріпак, соняшник, сою, а також рижій. Також, до сировинної бази для виробництва біодизельного палива в Україні можна віднести: «мультисировину» м'ясокомбінатів (жири тварин), фритюрний жир, ліпіди мікродоростей тощо [22].

Тваринні та харчові жири як сировина для отримання біодизельного палива знайшли розповсюдження у тих країнах, де вони досить дешеві та забезпечують достатню прибутковість. У Німеччині вже давно існують фірми, які збирають використану олію з ресторанів та кафе швидкого харчування для переробки її на біопаливо. Філіали компанії «Макдоналдс» в Об'єднаних Арабських Еміратах відкрили підприємство з виробництва біодизельного палива. Отримують його з відпрацьованої після приготування картоплі фрі та гамбургерів рослинної олії. Річна потужність даного заводу становить до 1 млн л палива.

Донедавна ріпак був основною сировиною для отримання альтернативних моторних палив (так званих біопалив «першого покоління»). Проте, зважаючи на низку труднощів та неоднозначних питань, пов'язаних з вирощуванням ріпаку, протягом останніх 5 років ситуація істотно змінилася. Причиною цього є значна ресурсо- та енергозатратність процесу культивування ріпаку. Це пояснюється тим, що одержання високих врожаїв ріпаку потребує інтенсивного обробітку родючих земель, щ досить швидко їх виснажує, внесення великих кількостей добрив, та речовин для боротьби з шкідниками. Ріпак є дуже вимогливим до кліматичних та ґрунтових умов, Крім того, проблемою є те, що вирощування ріпаку на родючих землях становить конкуренцію продукції харчового призначення [22]. У зв'язку з цим, подальші дослідження щодо використання ріпаку для одержання біопалив не є доцільними.

Варіантом вирішення проблеми є використання відновлюваної рослинної сировини, що не становить конкуренції харчовій галузі та не виявляє коротко- або довгострокової загрози навколишньому середовищу, тобто отримання та використання якої є сталим..

У зв'язку з цим ми розглядаємо альтернативні варіанти сировини – зокрема рижій.

2.2. Характеристики основних олійних культур як сировини для виробництва біодизельного палива

Під час написання наукової роботи було проведено низку аналітичних та дослідних робіт щодо визначення властивостей рослинних олій та біодизельних палив на їх основі. Дослідження показали, що використання рослинних олій в їх природній формі можливе, але не бажане [23]. Висока в'язкість олій і низька летючість впливає на розпилення і поширення палива в циліндрі двигуна, що призводить до неповного згоряння і важких наслідків, наприклад залягання у канавках поршневих кілець. Такі методи, як змішування з дизельним паливом, емульгування, піроліз і переетерифікація (змішування з метанолом) використовуються для зменшення в'язкості рослинних олій. Серед них переетерифікація є найбільш використовуваним комерційним процесом отримання якісного та екологічно чистого палива [24].

Розглянемо коротко характеристики основних видів олій, що використовуються на сьогодні для виробництва альтернативних палив. Рослинні олії є хімічно складними естерами жирних кислот. Ці жири природним чином присутні в олії насіння, і відомі як тригліцериди жирних кислот. Молекулярна вага цих тригліцерид становить близько 800 кг/м^3 і більше. Через свою високу молекулярну вагу ці жири мають високу в'язкість, тим самим викликаючи серйозні проблеми їх використання, як палива в двигунах.

Типовими для України олійними культурами є рижій, соняшник, соя, ріпак та інші. Тому було проаналізовано їх властивості як сировини для

виробництва біодизельного палива [27]. У таблиці 2.1. подано основні фізико-хімічні властивості ріпакової, соняшnikової та соєвої олій.

Таблиця 2.1

Порівняльна характеристика фізико-хімічних характеристик різних олійних культур

№ з/п	Фізико-хімічні властивості	Ріпакова олія	Соняшnikова олія	Соєва олія	Рижієва Олія
1.	Густина за температури 20°C, кг/м ³	916	923	924	918
2.	Кінематична в'язкість за температури (мм ² /с): 20°C 40°C 100°C	75,0 36,0 8,1	65,2 30,7 7,4	- 32,0 7,7	72,0 29,0 7,2
3.	Цетанове число	36	33	50	51
4.	Нижча теплота згорання, МДж/кг	37,3	37	36–39	35
5.	Температура спалаху, °C	318	320	318	317
6.	Температура помутніння, °C	мінус 20	мінус 16	мінус 20	мінус 19
7.	Вміст сірки, %	0,002	–	–	-
8.	Кислотність, мг КОН/100 мл палива	4,66	2,14	0,03	0,17
9.	Коксівність 10%-го залишку, не більше	0,4	0,51	0,44	0,42
10.	Йодне число	95–106	119–136	120–141	132-155

Загалом рослинні олії мають фізико-хімічні властивості, що істотно відрізняються від мінерального дизельного палива. Тому, для дизельних двигунів доцільно використовувати продукти переробки рослинних олій – рафінади, етилові та метилові естери цих олій (біодизель). У процесі переробки олій їх властивості поліпшуються і стають більш подібними до характеристик мінерального дизельного палива [27].

Вивчення біопалив «другого покоління» на основі відновлюваної сировини є основним завдання наукової роботи. Одним з таких видів сировини, зокрема, є рижієва олія.

Рижієва олія. Однією з переваг рижію над іншими видами олійних культур є його стійкість до несприятливих ґрунтових і кліматичних умов,

завдяки чому є можливість вирощувати його на низькородючих ґрунтах, не придатних для культивування інших сільськогосподарських культур. В олії рижію переважають ненасичені жирні кислоти з кількома подвійними зв'язками. Завдяки цьому олія відрізняється достатньо низькою температурою застигання – близька $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, що забезпечуватиме у подальшому задовільні низькотемпературні властивості біопалива .

Рижій є перспективною сировиною для виробництва біодизелю. Рижій характеризується високою холодостійкістю (насіннєвий матеріал проростає за $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а сходи легко витримують заморозки до мінус $12\text{ }^{\circ}\text{C}$) і водночас посухостійкістю. Добре росте на всіх видах ґрунтів, окрім глинистих. Однією з основних біологічних особливостей рижію є короткий вегетаційний період, який у більшості регіонів вирощування культури становить 80–85 днів [28].

Короткий вегетаційний період рижію дає змогу після його збирання вирощувати інші культури, а використання його для зайнятого пару дає змогу добре підготувати ґрунт та накопичити вологу до посіву озимих.

Рижій достатньо врожайна культура: його потенційна врожайність може складати 20–30 ц/га. Насіння рижію містить понад 40–50 % олії та 25– 32 % сирого протеїну [28]. В олії рижію переважають ненасичені жирні кислоти з кількома подвійними зв'язками. Завдяки цьому олія відрізняється достатньо низькою температурою застигання – близько $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, що забезпечуватиме у подальшому задовільні низькотемпературні властивості біопалив [28].

З метою обґрунтування доцільності вирощування рижієвої олії як альтернативної сировини для виробництва біодизельного палива було проведено порівняльний аналіз основних агротехнічних характеристик культур рижію та ріпаку. Результати аналізу наведено у таблиці 2.2.

Проаналізувавши дані, наведені в табл. 2.2, можна зробити висновок, що рижій має більший потенціал у порівнянні з ріпаком, у першу чергу завдяки його стійкості до несприятливих ґрунтових і кліматичних умов. В результаті, це дає можливість вирощувати його на ґрунтах низької якості, непридатних для інших культур. Крім того вирощування насіння рижію є екологічно безпечним, адже

рижій характеризується надзвичайною пластичністю до агроекологічних умов вирощування, не вимагає застосування добрив, пестицидів і фунгіцидів [28].

Таблиця 2.2

Порівняльна характеристика властивостей ріпаку і рижію

№ з/п	Властивості	Вид олійної рослини	
		Рижій	Ріпак
1	Загальна характеристика	Однорічна рослина	Однорічна кормова рослина
2	Посухостійкість	Низька потреба у воді	Висока потреба у воді
3	Потенціал проростання	Підходять майже всі види ґрунтів	Вимоглива до ґрунту
4	Загроза зниження родючості ґрунту	Використовують як проміжну культуру, після збирання врожаю якої можна висаджувати інші культури	Виснажує ґрунти. Вирощувати ріпак на одному і тому ж місці можливо лише через 3-4 роки
5	Наявність бур'янів	Виділяється ефірна олія, що пригнічує ріст та розвиток бур'янів від фази утворення стебла до повної дозрілості насіння	Велика кількість бур'янів
6	Втрати насіння	Висока стійкість стручків проти розтріскування	Низька стійкість стручків проти розтріскування
7	Вразливість посівів шкідниками	Шкідники та хвороби не виявлені	Сильно вражається шкідниками
8	Період вегетації	60–75 діб	90-100 діб

Зважаючи на наведене вище, цілком очевидним є, що вирощування рижію як сировини для виробництва біопалив матиме низку переваг у порівнянні з іншими сільськогосподарськими культурами, що використовуються сьогодні. Використання 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. Таким чином, дослідження можливості використання рижієвої олії для одержання компонентів альтернативних палив, зокрема біодизельних, є актуальним науково-прикладним питанням [29].

Розділ 3.

Фізико-хімічні, експлуатаційні та екологічні властивості біодизельних палив на основі рижієвої олії

3.1. Порівняльна характеристика показників якості біодизельного палива з використанням різних спиртів

На основі попередньо виконаних нами досліджень [30], було проведено порівняльний аналіз основних показників якості зразків біодизельних палив на основі ріпакової та рижієвої олії з використанням метилового та етилового спиртів.

Зразки біодизельних палив отримували відповідно до схеми, яка наведена на рис. 3.1. [30]. На першому етапі готували вихідну сировину – рижієву та ріпакову олії; вона має бути належної якості: бути профільтрованою, не містити механічних домішок або забруднень. Окрім того, готували спирт як агент переестерифікації. У рамках дослідження використовували етиловий та метиловий спирти.

На другому етапі готували розчин каталізатора переестерифікації – алкоголяту натрію, розчиняючи наважку луку у всьому об'ємі вихідного спирту. Далі олію завантажували у реактор, куди при перемішуванні додається спирт з розчиненим каталізатором. Реакція алкоголізу перебігає за температури 15–60 °С. У результаті утворюються естери та гліцерин. Заключним етапом є очищення естерів, та утилізація або подальше перероблення гліцеринової фази .

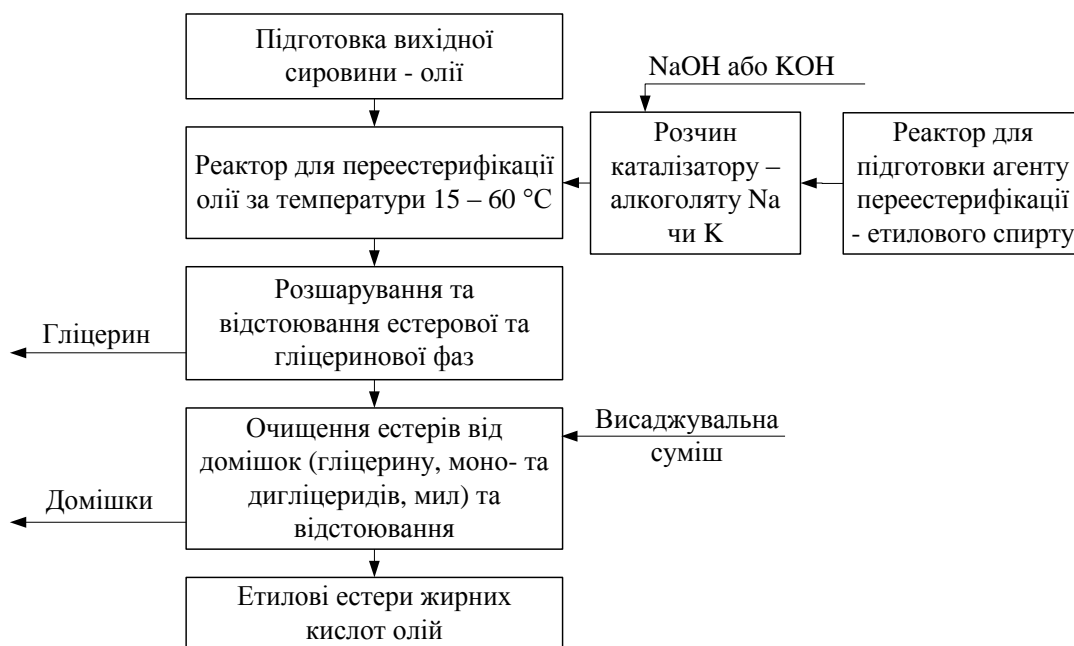


Рис 3.1. Принципова блок-схема одержання біодизельного палива

Для дослідження показників якості використовували наступні зразки біодизельного палива: МЕ ріпакової олії, ЕЕ ріпакової олії, ЕЕ соняшникової олії, а також ЕЕ рижієвої олії. Якість зразків палива порівнювали з вимогами до якості традиційного дизельного палива ДСТУ 7688:2015 та вимогами до біодизельних палив (ДСТУ 6081:2009 та ДСТУ 7178:2009). Результати досліджень наведено у таблиці 3.1 [30].

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика показників якості зразків біодизельних палив та нафтового дизельного палива

№ з/п	Характеристика	ДСТУ 7688:2015	ДСТУ 6081:2009	ДСТУ 7178:2010	МЕ ріпакової олії	ЕЕ ріпакової олії	ЕЕ соняшникової олії	ЕЕ рижієвої олії
1.	2	3	4	5	6	7	8	9
2.	Густина за $t=20^{\circ}\text{C}$, $\text{кг}/\text{м}^3$	820–845	860–900	860–900	882,9	881,0	873,0	882,0
3.	Фракційний склад, $^{\circ}\text{C}$ t поч. кип., $^{\circ}\text{C}$ t 50 %перегонки, $^{\circ}\text{C}$	- - -	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в

	за t 250 °C випаровується, % за t 350 °C випаровується, % t 95 %перегонки, °C	не >65 не <85 не >360						
4.	В'язкість, мм ² /с, за t 40 °C	2,0–4,5	н/в	3,5–5,0	4,5	5,47	4,7	4,45
5.	Температура спалаху, °C	не <55	не <120	не <101	130	110	>168	>170
6.	Температура застигання, °C	н/в	н/в	н/в	- 15	-14	-14	-23
7.	Гранична температура фільтрування, °C	не >-5	н/в	н/в	- 13	- 7	- 10	-13
8.	Вища теплота згорання, кДж/кг	н/в	н/в	н/в	37315	40271	39145	39842
9.	Змащувальна 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	клас 1	клас 1	клас 1	клас 1

З даних, наведених у таблиці 3.1 можна побачити, 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, нафтонових і ароматичних вуглеводнів, що складають мінеральне дизельне паливо [30].

Зокрема, зразки біодизельного палива мають достатньо високі значення густини, порівняно з вимогами до дизельного палива. У той же час, усі досліджені зразки цілком задовольняють вимоги 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 вимоги стандартів на естери жирних кислот. При цьому в'язкість ЕЕ рижієвої олії є найнижчою і цілком задовольняє вимоги до нафтового дизельного палива [30].

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.

Низькотемпературні властивості зразків біодизельних палив істотно відрізняються від таких для нафтового дизельного палива. Значення температури застигання та граничної температури фільтрування є типовими для естерів жирних кислот та зумовлюються хімічною будовою їх молекул. Враховуючи вимоги до граничної температури фільтрування дизельного палива, доходимо висновку, що всі з досліджених зразків біопалив можуть використовуватися як заміна або додаток до мінерального палива [30].

Як відомо, 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. Серед досліджених зразків найвищою теплотою 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 [30].

Відомо, що одним з важливих експлуатаційних показників дизельного палива є його змащувальні властивості. Для забезпечення високої змащувальної здатності нафтові дизельні палива містять сполуки сірки, що у той же час є джерелом шкідливих викидів оксидів сірки. У зв'язку з цим сьогодні вміст сполук сірки в дизельних паливах жорстко нормується. Дослідження біопалив показали, що їх змащувальна здатність є значно вищою порівняно з нафтовими дизельними паливами. При цьому естери жирних кислот олій практично не містять сполук сірки.

Серед досліджених зразків найвищі значення відмічено саме для ЕЕ рижієвої олії відповідно до вимог EN 590 (2009) «Automotive fuels - Diesel - Requirements and test methods» та ДСТУ 7178:2010 «Паливо альтернативне.

Естери етилові жирних кислот олій та жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги та методи контролювання». Саме тому нами були проведені детальні дослідження фізико-хімічних показників якості зразків біодизельних палив та нафтового дизельного палива з різним відсотковим вмістом ЕЕ ріжівевої олії та для зрівня ЕЕ ріпакової олії, що представлено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Порівняльна характеристика показників якості зразків біодизельних палив та нафтового дизельного палива з різним відсотковим вмістом ЕЕ ріжівевої олії

Характеристика	ЕЕ ріпакової олії	ЕЕ ріжівевої олії	Дизельне паливо	Дизельне паливо +10% ЕЕ ріжівевої олії	Дизельне паливо +30% ЕЕ ріжівевої олії	Дизельне паливо +50% ЕЕ ріжівевої олії
2	3	4	5	6	8	9
Густина за $t=20^{\circ}\text{C}$, $\text{кг}/\text{м}^3$	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, % t кін. кип., $^{\circ}\text{C}$	н/в	н/в	153,0 248,1 52 97 за 336 $^{\circ}\text{C}$	163,9 257,6 48 93 за 342 $^{\circ}\text{C}$	176,6 274,2 34 95 за 338 $^{\circ}\text{C}$	157,8 310,9 24 77 за 303 $^{\circ}\text{C}$
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
Механічні домішки, (не більше), $\text{мг}/\text{кг}$	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в
Корозія на мідній пластинці	клас 1а	клас 1в	клас 1а	1а	1а	1а

З даних, наведених у таблиці 3.2 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 вимоги EN 590 (2009) «Automotive fuels - Diesel - Requirements and test methods» та ДСТУ 7178:2010 «Паливо альтернативне. Естери етилові жирних кислот».

Зокрема, зразки біодизельного палива мають достатньо високі значення густини, порівняно з вимогами до дизельного палива. У той же час, усі досліджені зразки цілком задовольняють вимоги стандартів на естери жирних кислот (рис.3.2).

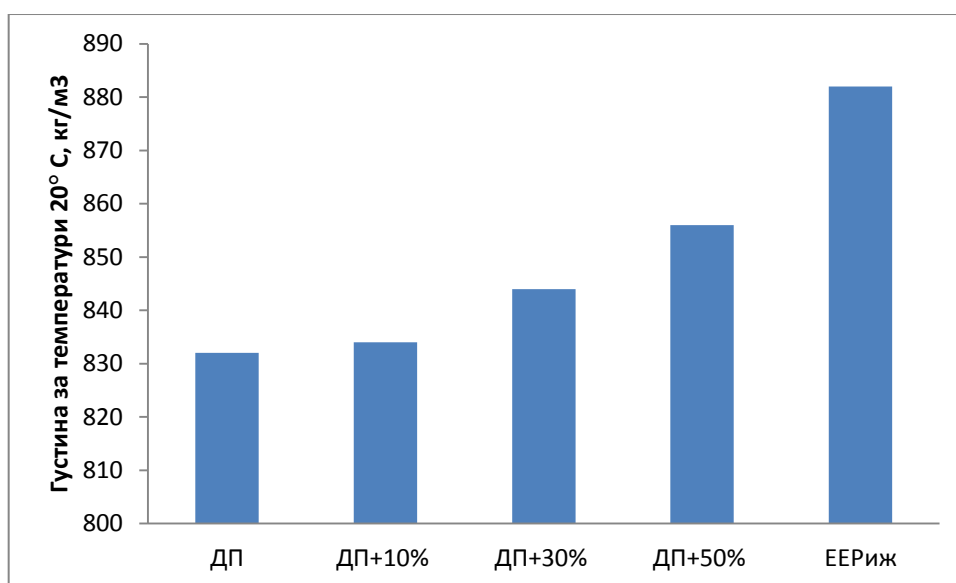


Рис. 3.2. Залежність густини біопалив від вмісту біокомпоненту

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 вимоги стандартів (рис.3.3).

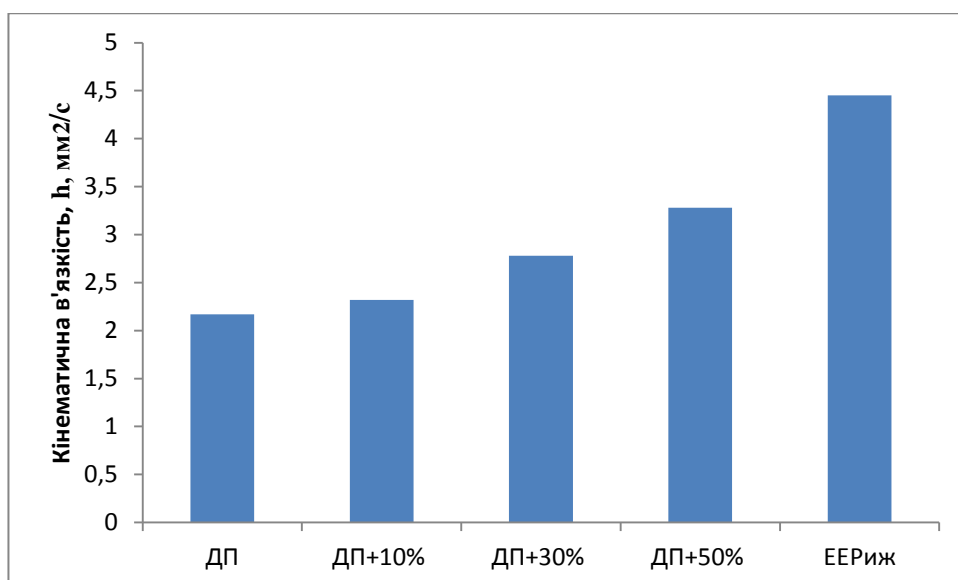


Рис. 3.3. Залежність кінематичної в'язкості біопалив від вмісту біокомпоненту

Температура спалаху усі досліджених зразків палив з 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.

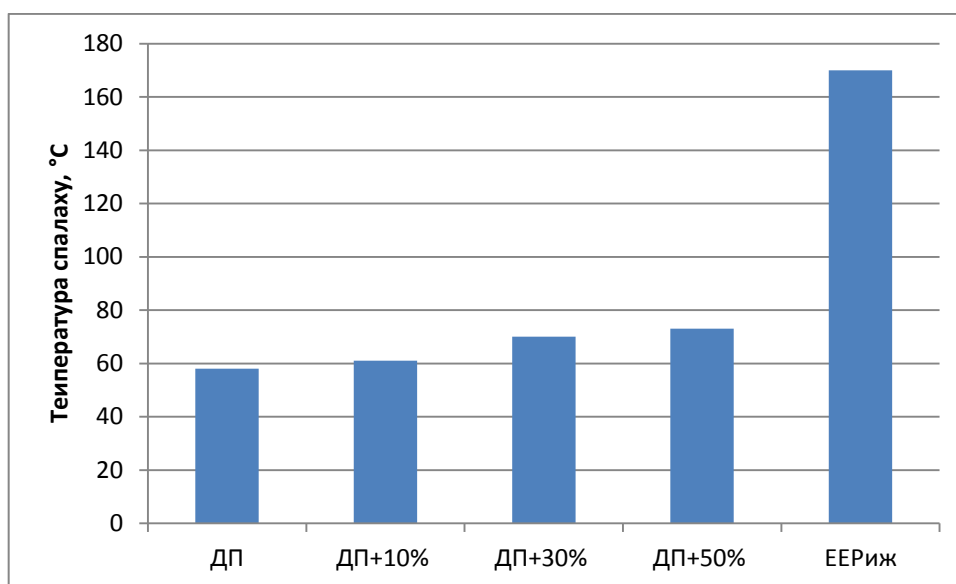


Рис. 3.4. Залежність температури спалаху від вмісту біокомпоненту

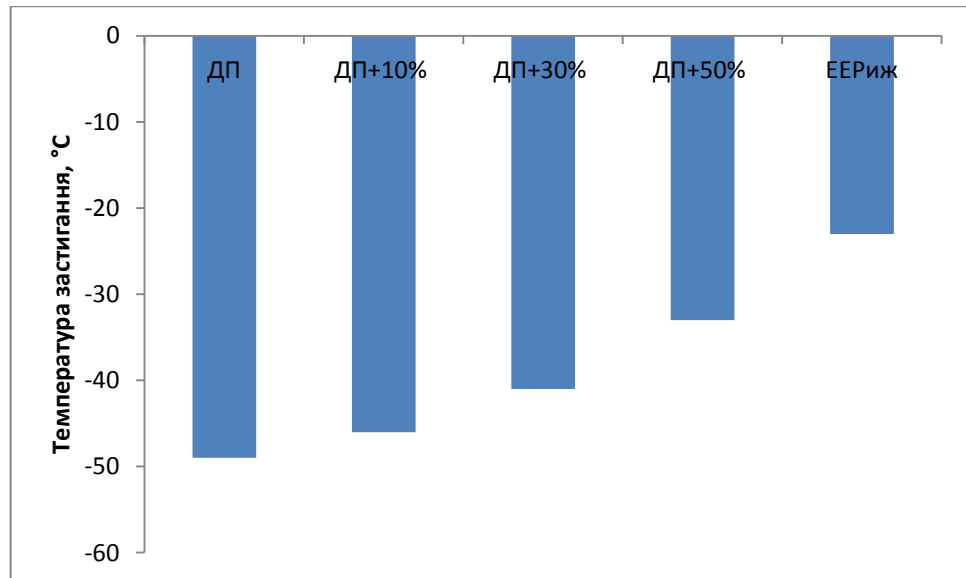


Рис. 3.5. Залежність температури застигання від вмісту біокомпоненту

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 ріжівської олії можна використовувати у країнах з досить низькими температурними умовами [30].

Корозія на мідній пластині як для нафтового дизельного палива так і для зразків біопалив з різним відсотковим вмістом біокомпоненту відноситься до першого класу, що показано на рис.3.6-3.7.



Рис 3.6. Корозія на мідній пластині етилового естеру ріпакової олії та етилового естеру ріжівської олії в порівнянні з еталонним зразком

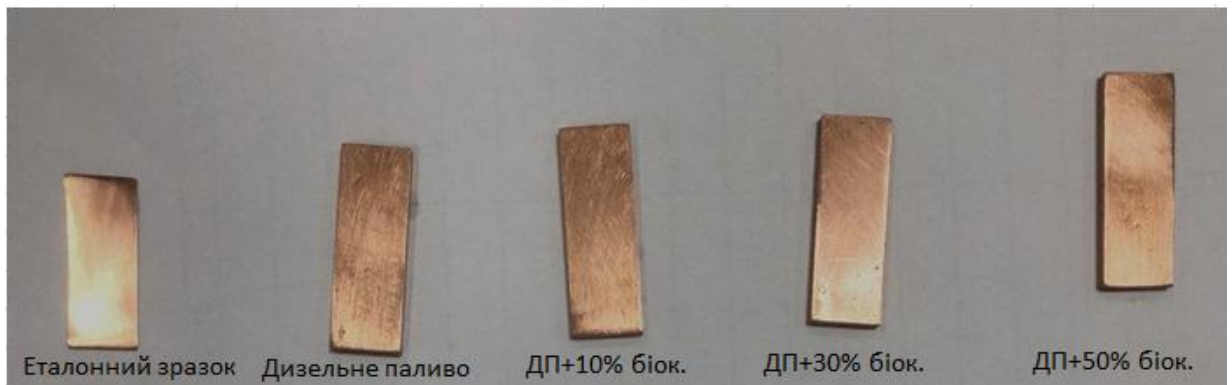


Рис 3.7. Корозія на мідній пластині дизельного палива та суміші дизельного палива з різним відсотковим вмістом етилового естеру рижієвої олії в порівнянні з еталонним зразком

Вирішальний вплив на корозійну активність дизельних палив має вміст і характер сірчистих сполук. Корозійна агресивність зразків дизпалива та дизпалива з різним відсотковим вмістом ЕЕ рижієвої олії витримали випробування на мідній пластинці.

Висновки

1. На основі літературного огляду обґрунтовано перспективи виробництва в Україні біодизельних палив з власної відновлюваної сировини – рослинних олій.

2. Оцінено потенціал вітчизняної сировини для виробництва біодизельного палива в Україні. Проаналізовано агротехнічні, фізико-хімічні властивості олійних культур, що використовуються як сировина для виробництва біодизельного палива.

3. Обґрунтовано необхідність розширення сировинної бази для виробництва біодизельного палива, зокрема за рахунок вирощування рижію посівного. Показано переваги вирощування рижію як сировини для виробництва біопалив.

4. Проведено 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. Показано, що властивості зразків досліджених біопалив, зокрема на основі рижієвої олії цілком задовольняють вимоги стандартів на біодизельне та дизельне палива.

5. Використання етилових естерів рижієвої олії як альтернативи або додатку до дизельних палив забезпечить високі експлуатаційні властивості, а також дозволить підвищити екологічність викидів відпрацьованих газів .

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інвестиції у відновлювані джерела енергії. URL: <http://www.newenergyfinance.com/> (дата звернення 11.04.2019 р).

2. Климчук О.В. Передумови становлення та розвитку біопаливного виробництва у світі та Україні : матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Вінниця.Вінницький національний аграрний університет. Вид-во Вінниця., Вінниця, 2015. С. 18-22.

3. Андреева Н. Сельское хозяйство западных стран на постиндустриальном этапе развития. *Мировая экономика и международные отношения*. 2009. №7. С. 91-96.

4. Матвеева І. В.,Яковлева А.В., Зубенко С.О., Гудзь А.В. Перспективи розширення сировинної бази для виробництва біодизельного палива в Україні. *Наукоємні технології* . 2019. № 1(41). С. 69– 76.

5. REN 21 / Міжнародна некомерційна асоціація, що базується в Програмі Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища (ЮНЕП)/ Renewables 2017 GlobalStatusReport (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9818107-6-9. P. 45 URL: <http://www.ren21.net/>(дата звернення 11.04.2019 р).

6. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива: монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк та ін. К. : «Аграр Медіа Груп», 2010. 292 с.

7. Куц Т. Біопаливо «четвертого покоління» – шлях до мінімізації витрат у виробничому процесі. URL: <https://alternative-energy.com.ua> (дата звернення : 29.01.2019 року) .
8. Гудзь А. Перспективи розширення сировинної бази для виробництва біодизельного палива. *Екологічна безпека держави: матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів* (м.Київ,18 квітня 2019 р.). Київ : Вид-во "Національний авіаційний університет". 2019. С. 13-14.
9. Колодько 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).
10. Семенов В. Біодизельне паливо для України. Вісник Національної академії наук України. 2007. №4. С.18-22.
11. Бойченко С.В., Пушак А., Топільницький П., Лейда К. Моторні палива. Київ : Вид-во «Центр учбової літератури» , 2017. 245-248с.
12. Введення агробізнесу в Україні. Олійні (за даними державної статистики України). URL: http://ucab.ua/ua/doing_agribusiness/agrarni_rinki/oliyni (дата звернення 18.03.2019 р).
13. Дубровин В.А., Драгнев С.В. Технологии и технические средства производства биодизельного топлива из растительных масел. *Аграрна техніка та обладнання*. 2008. №1(2). С. 67-73.
14. Зарубіжний досвід електро - та теплопостачання на основі впровадження екологоефективних біопаливних технологій. 2017, №10. URL: https://ua.energy/wpcontent/uploads/2017/05/Biopalyvni_tehnologiyi.pdf (дата звернення 18.04.2019 р).
15. Звіт про глобальний статус поновлюваних джерел енергії 2017 року, REN21 URL: <http://www.ren21.net/status-ofrenewables/global-status-report/>. (дата звернення 12.04.2019 р).
16. Столярчук П., Ковалишин С., Краснопольська О. Визначення вимог щодо якості біодизельного палива. *Вимірювальна техніка та метрологія*. Львів.

2007 р. № 67. С.114-118. URL: [http:// www.google.com.ua/search?hl =ru&q= EN+14214 meta=](http://www.google.com.ua/search?hl=ru&q=EN+14214+meta=) (дата звернення 03.04.2019 р).

17. 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 випробовування). URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/EN_ 14214](http://en.wikipedia.org/wiki/EN_14214): (дата звернення 01.05.2019 р).

18. ДСТУ 6081:2009 Топливо моторное. Эфиры метиловые жирных кислот масел и жиров для дизельных двигателей. Технические требования. [Чинний від 01.03.2010]. Вид.офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2009.

19. Биотопливо для дизельных двигателей внутреннего сгорания. URL: <https://metallurgy.zp.ua/biotoplivo-dlya-dizelnyh-dvigatelay-vnutrennego-sgoraniya/>(дата звернення 10.04.2019 р).

20. Бойченко С.В., Пушак А., Топільницький П., Лейда К. Моторні палива. Київ : Вид-во «Центр учбової літератури» , 2017. 245-248с.

21. Оверченко Б.П., Міщенко Н.М. Перспективи розвитку ріпаківництва та проблеми виробництва біодизелю в Україні. *Економіка і прогнозування*. 2007. №3. С. 75-98.

22. Виды сырья для производства биодизеля и их преимущества. URL: <http://abercade.ru/research/analysis/2314.html> (дата звернення 18.05.2019 р).

23. Устименко В.С., Ковальов С.О., Бейко О.А. Перспективи і проблеми розширення використання біопалив автомобільним транспортом України. *Автошляховик України*. 2003. №2. С.7.

24. Черненко С. М., Атамась А. І. Економічні та енергетичні показники роботи дизельного двигуна при використанні біодизеля. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук. КДПУ імені Михайла Остроградського, 2007. Випуск 2(43).Частина 2. С. 85 – 89.

25. Дубневич Ю., Черевко Д. Методика визначення ефективності вирощування ріпаку на енергетичні потреби. *«Теорія і методика наукових досліджень»* . Львів : Вид-во. « АГРАРНА ЕКОНОМІКА», 2016. Т. 9, № 3-4. С. 9-

16.

26. Журенко Ю.І., Яропуд В.М., Бабин І.А. Біодизель - альтернативна заміна дизельного палива. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. 2012 р. Т. 1 (58), №10 .С. 44-51.

27. Семенов В. Біодизель в Україні чи з України? URL: https://dt.ua/ECONOMICS/biodizel_v_ukrayini_chi_z_ukrayini.html. (дата звернення 21.04.2019 р).

28. Рахметов Д.Б., Рахметова С.О., Бойчук Ю.М., Блюм Я.Б. Фізіологічні та морфометричні характеристики нових форм та сортів ярого рижюю (*Camelina sativa*) . ISSN 1810-7834. *Вісн. Укр. товариство генетиків і селекціонерів*. 2014. Том 12, № 1. С.65–77.

29. Iakovlieva A., Lejda K., Vovk O., etc. Improvement of technological scheme of fatty acids ethyl esters production for use as jet fuels biocomponents International. *Journal of Theoretical and Applied Science*. 2014. Iss. 11(19). P. 44 – 55. DOI: 10.15863/tas.2014.11.19.9

30. Матвєєва І. В., Яковлєва А.В., Зубенко С.О., Гудзь А.В. Перспективи розширення сировинної бази для виробництва біодизельного палива в Україні. *Наукоємні технології* . 2019. № 1(41). С. 69– 76.