

С.В. Бойченко<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-2489-4980  
С.Ю. Докшина<sup>1</sup>, аспірант, старший викладач, ORCID 0000-0001-8136-8779  
І.О. Шкільнюк<sup>1</sup>, канд. техн. наук, завідувач лабораторією, ORCID 0000-0002-8808-3570  
А.В. Яковлева<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-7618-7129  
С. О. Зубенко<sup>1</sup>, к.х.н., науковий співробітник ORCID 0000-0003-2161-5939

<sup>1</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО МОТОРНОГО ПАЛИВА З ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННИХ ОЛІЙ ТА ТВАРИННИЦТВА

*Харчові відходи становлять негативний вплив на довкілля за неправильного поводження. Органічні відходи під час розкладання виділяють метан – парниковий газ, що сприяє зміні клімату. Однак, правильне управління харчовими відходами та їх утилізація може суттєво зменшити їх негативний вплив. На сьогодні в Україні існує невирішене питання високої відходоємності. Відходи промислового та побутового походження часто не піддаються належному сортуванню та переробці, що призводить до їх накопичення на звалищах та сміттєзвалищах. Другим болючим питанням є паливна залежність України від країн Європи. Тому саме перспективним напрямом посилення паливної незалежності є виробництво вітчизняних альтернативних моторних палив. Виробництво останніх можна налагодити саме з харчових відходів, вирішуючи одночасно питання відходоємності та паливної залежності.*

*Тому метою даного дослідження є визначення потенціалу отримання вітчизняного альтернативного палива з харчових відходів. Об'єктом дослідження є утилізація харчових відходів, що утворюються в процесі діяльності ресторанного бізнесу, виробництва рослинних олій та тваринництва в Україні. Предметом дослідження є харчові відходи, їх енергетичний потенціал з метою отримання альтернативного палива. Робочою гіпотезою дослідження є те, що налагодження екологістики збору та перетворення даних відходів здатне частково вирішити енергетичну ситуацію в країні.*

*У наведеній статті описано шкочу, що можуть спричинити довкіллі харчові відходи, виконано аналіз світового досвіду утилізації цих відходів, здійснено аналіз найбільших мереж ресторанного бізнесу, аналіз відходів за останні роки від виробництва рослинних олій та тваринництва, проаналізовано коефіцієнти перетворення харчових відходів у композиційне моторне паливо та розрахований потенціал отримання альтернативного палива з харчових відходів для України.*

*У результаті дослідження було встановлено, що середній річний потенціал отримання альтернативного палива від відходів виробництва олій та рослинної сировини знаходиться у діапазоні 33,25-44,2 тис. тонн/рік, а середній річний потенціал отримання альтернативного палива від відходів продуктів тваринництва знаходиться у діапазоні 2,65-5,2 тис. тонн/рік. Обсяги виробництва палива від відходів ресторанного бізнесу потенційно значно більші. Проте доступ до цих даних, нажаль, поки обмежений. Отже, сумарний річний потенціал отримання альтернативного палива з відходів виробництва олій та рослинної сировини, а також продуктів тваринництва знаходиться у діапазоні 35,9-49,4 тис. тонн/рік. Висунута нами гіпотеза підтверджена результатами цих досліджень.*

*Дослідження виконуються у рамках проекту «Розроблення технологічних рішень отримання композиційних моторних палив із вторинної сировини для підвищення енергетичної безпеки» за рахунок державного бюджету згідно наказу Міністерства освіти і науки України №1572 від 27.12.2023 р. «Про затвердження переліку проєктів фундаментальних наукових досліджень, прикладних наукових досліджень, науково-технічних (експериментальних) розробок, виконавцями яких є заклади вищої освіти та наукові установи, що належать до сфери управління Міністерства освіти і науки України, які пройшли конкурсний відбір та фінансування яких розпочнеться з 2024 року за рахунок коштів Державного бюджету України» (реєстраційний номер 0124U000973).*

**Ключові слова:** утилізація харчових відходів, альтернативні моторні палива, композиційні моторні палива, відходоємність, паливна незалежність, декарбонізація, рециклінг, екологістика, енергоефективність.

### Вступ

Харчові відходи є значною екологічною проблемою, за неправильного поводження вони негативно впливають на довкілля. Під час розкладання органічних відходів виділяється метан – потужний парниковий газ, що сприяє зміні клімату. Однак, правильне управління харчовими відходами, включаючи компостування та перетворення на біогаз або у моторне паливо, може суттєво зменшити їхній негативний вплив. В Україні існує гостра проблема високого рівня відходоємності [1]: промислові та побутові відходи

часто не піддаються належному сортуванню та переробці, що призводить до їх накопичення на звалищах. Крім того, країна залежить від імпортного палива з Європи [2], що ставить перед нею завдання підвищення паливної незалежності шляхом виробництва альтернативних моторних палив. Виробництво такого палива може одночасно вирішувати як проблему відходоємності та шкоди довкіллю, так і паливної залежності.

**Метою дослідження** є оцінка потенціалу перетворення харчових відходів у композиційне моторне паливо для України.

Для досягнення мети, поставлено наступні завдання: проаналізувати світовий досвід утилізації харчових відходів; провести аналіз відходів найбільших мереж ресторанного бізнесу; дослідити відходи від виробництва рослинних олій та тваринництва за останні роки; проаналізувати коефіцієнти перетворення харчових відходів у композиційне моторне паливо; розрахувати потенціал виробництва композиційного моторного палива для України.

**Об'єктом** дослідження є утилізація харчових відходів, що утворюються в процесі діяльності ресторанного бізнесу, виробництва рослинних олій та тваринництва в Україні. **Предметом** дослідження є харчові відходи, їх енергетичний потенціал з метою отримання альтернативного палива. **Робочою гіпотезою** дослідження є те, що налагодження екології збору та перетворення даних відходів здатне частково вирішити енергетичну ситуацію в країні.

## Матеріали та результати досліджень

### 1. Відходи відпрацьованої олії та рослинних жирів

#### 1.1. Світові масштаби утворення відпрацьованої олії

На рисунку 1 наведено світові масштаби утворення відпрацьованої олії. Європа у світових масштабах займає 4%. Найбільші обсяги утворення відпрацьованої олії має Америка (55%) та Китай (25%).



Рисунок 1 – Виробництво відпрацьованої олії у світових масштабах  
Джерело: [3] (прим. Перекладено авторами)

За даними [4], біодизель/біоетанол може замінити приблизно 10% споживання дизельного палива в Європі та 5% загального попиту на паливо в Південно-Східній Азії.

#### 1.2. Відходи відпрацьованих олій при споживанні у готелях та ресторанах

Зі списку найбільших мереж ресторанів України перше місце займає мережа кав'ярень-пекарень "Львівські круасани" (153 заклади), друге місце посідає львівський холдинг !Fest (105 закладів різних форматів), з них мережа ресторанів "Реберня", "Перша львівська грильова ресторація м'яса та справедливості", "Пструг, хліб та вино" можуть бути потенційними партнерами для виробництва композиційних моторних палив. Третє місце посідає МакДональдс. Наступні місця посіли такі мережі: GastroFamily Дмитра Борисова (66 закладів), Domino's Pizza (65 ресторанів); KFC (56 закладів); Pizza Celentano (50 закладів); Пузата хата (36 закладів); Чорноморка (31 заклад); Сушия – 22 заклади [5]. Усі перелічені мережі, окрім "Львівських круасанів" різною мірою беруть участь в утворенні відходів відпрацьованої олії та тваринних жирів.

Обсяги утворення даних відходів є закритими даними. На запит щодо надання інформації, мережа МакДональдс надала відповідь, що вони приймають пропозиції тільки до співпраці. Потенційно, можливо налагодити логістику збуту відходів від цієї мережі. Проте за офіційними даними, екологістика збуту даних відходів вже налагоджена: "З харчових відходів – добрива для земель, а з олій – біопаливо та мастильні матеріали для будівництва" [6].

Стосовно закладів KFC, даних щодо утилізації жирів чи олій немає у відкритому доступі. Дані щодо утилізації у мережі "Пузата хата" відсутні. Проте є інформація щодо наявності у ресторанах систем для прийому стічних рідин та успішне очищення колодязів та жировловлювачів компанією "Труболюб" у ресторанах [7]. Інформація щодо поводження з відходами олій та жирів у інших мережах відсутня.

**1.3. Відходи олійного виробництва**

За даними [8], для отримання палива з промислових відходів олійного виробництва можливо використовувати сировину рослинну для виробництва олії та жирів рослинних зіпсовану, забруднену або неідентифіковану, її залишки, які не можуть бути використані за призначенням.

У таблиці 1 Наведений обсяг утворення відходів олії та рослинної сировини при виробництві у 2017-2020 роки.

Таблиця 1 – Обсяг утворення відходів олії та рослинної сировини при виробництві у 2017-2020 рр., тонн [9]

№	код	назва	Обсяг утворення відходів олії та рослинної сировини при виробництві, тонн			
			2017	2018	2019	2020
1	1541.1.1.01	Сировина рослинна для виробництва олії та жирів рослинних зіпсована, забруднена або неідентифікована, її залишки, які не можуть бути використані за призначенням	10437,1	11452,39	14388,65	1149,77
2	1541.1.1.03	Сировина та речовини допоміжні, які використовуються під час виробництва олії, жирів тваринних та рослинних неочищених, зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, їх залишки, які не можуть бути використані за призначенням	1103,5	7449,301	9475,997	15117,96
3	1541.2.9.08	Напівфабрикати власного виробництва олії та жирів тваринних та рослинних неочищених або залишки незакінченого виробництва олії, жирів тваринних та рослинних неочищених, не придатні для використання за призначенням	29752,5	78632,38	2073,335	2416,92
4	1542.2.9.06	Напівфабрикати власного виробництва олії, жирів тваринних та рослинних очищених або залишки незакінченого виробництва олії, жирів тваринних та рослинних очищених, не придатні для використання за призначенням	263794,8	38,45	111,796	58,52
5	1543.3.1.03	Суміші жирів рослинних і тваринних некондиційні	2,7	3,2	5,2	1,725
6	1543.3.1.04	Жири та олії харчові інші, включаючи рідкий маргарин некондиційні	23,4	2,203	7,331	28,328
<b>Разом, тонн:</b>			305114	97577,92	26062,31	18773,22

Згідно даних з таблиці 1, за 2017 рік в Україні утворилось 305,1 тис. тонн відходів олійного виробництва, що є потенційним паливом. У 2020 році ця цифра становила 18,78 тис. тонн. Обсяг утворених відходів за 2017 рік значно відрізняється від обсягів утворених відходів олії та рослинної сировини у наступні роки. Тому, середнє значення утворених відходів олії та рослинної сировини при виробництві розраховувалось за 2018-2020 роки та становить 47,5 тис. тонн/рік.

**1.4. Потенціал отримання альтернативного палива від відходів виробництва олії та рослинної сировини**

Авторам [4] вдалось досягти вихід біодизеля від відпрацьованої олії у 88-90% при співвідношенні метанол/олія 7:1-8:1, температурах 30-50 °C і 0,75 мас.% гідроксиду калію. Трішки менші дані отримані [10] з коефіцієнтом перетворення 71,62%, за наступних умов: співвідношення олії до метанолу 1:6, каталізатор 2%, 120°C. Більше значення вдалось досягти [11] з максимальною конверсією вище 93%. Схоже значення отримання біодизеля від суміші відпрацьованих олій у 91,03% знайшли [12]. Отже, коефіцієнт перетворення біодизеля від відпрацьованої олії 70-93%.

Потенціал отримання палива від відходів відпрацьованої олії та рослинного виробництва розраховується за формулою 1.

$$N_{оп} = N_{во} \cdot k_{во} \quad (1)$$

де:

$N_{оп}$  – кількість отриманого палива від відходів відпрацьованої олії та відходів рослинного виробництва, тис. тонн/рік

$N_{во}$  – кількість утворених відходів відпрацьованої олії та відходів рослинного виробництва, тис. тонн/рік

$k_{во}$  – коефіцієнт перетворення відходів відпрацьованої олії та відходів рослинного виробництва у паливо, в.о.

Середнє значення утворених відходів олії та рослинної сировини при виробництві становить 47,5 тис. тонн/рік.

*Розрахуємо річний потенціал отримання альтернативного палива від відходів виробництва олії та рослинної сировини:*

**середній** річний потенціал отримання альтернативного палива від відходів виробництва олії та рослинної сировини знаходиться у діапазоні: від  $N_{он} = 47,5 \cdot 0,7 = 33,25$  тис. тонн/рік до  $N_{он} = 47,5 \cdot 0,93 = 44,2$  тис. тонн/рік. Обсяги виробництва палива від відходів ресторанного бізнесу потенційно значно більші. Проте доступ до цих даних, на жаль, поки обмежений.

## **2. Відходи продуктів тваринництва**

### **2.1 Відходи виробництва продуктів тваринництва у світі**

Відходи тваринного жиру є серйозною проблемою для навколишнього середовища в усьому світі, величезна кількість якого щодня утворюється на бойнях. Лише в Сполучених Штатах щорічно виробляється приблизно 2000 мільйонів метричних тонн відходів тваринництва, які містять близько 15% сухої речовини, що призводить до приблизно 300 мільйонів метричних тонн річного виходу сухої речовини [13]. Агрохарчова промисловість, включаючи відходи тваринного жиру, значною мірою сприяє забрудненню навколишнього середовища, що вимагає дорогої обробки через суворі правила. Проте відходи тваринного жиру є можливістю для виробництва біоенергії, оскільки дані відходи є дешевшою сировиною для виробництва біодизеля порівняно з відходами рослинної олії, так, у 2019 році тваринний жир становив до 6% загальної сировини [14]. Ці відходи можна переробити на цінне паливо, таке як біодизель, пропонуючи стійку альтернативу традиційному дизельному паливу та зменшуючи викиди вуглекислого газу, таким чином пом'якшуючи вплив на навколишнє середовище [15].

### **2.2. Відходи виробництва продуктів тваринництва в Україні**

Для отримання альтернативного палива можна використовувати різноманітні відходи тваринного виробництва. Такими відходами можуть слугувати курячі відходи, такі як голова, пір'я, кишки, шкіра, курячий жир: [16], [17], [18], кров, субпродукти, м'ясо-жирових відходів, що залишаються після розділення тушок і виробництва м'ясо-кісткового борошна [19]. Для виробництва олії можна також використовувати топлений пташиний жир, яловичий жир, соєву олію [20]. Взагалі, відходи тваринного жиру, що мають високий вміст вільних жирних кислот [21], субпродукти м'ясопереробних виробництв [22] підходять для виробництва біодизеля.

У таблиці 2 наведено відходи виробництва продуктів тваринництва у 2017-2020 роках, що можуть бути використані для виробництва альтернативного палива.

За даними таблиці 2, відходи виробництва продуктів тваринництва у 2017 році становили 6,5 тис. тонн. У 2020 році обсяг цих відходів становив 4,9 тис. тонн. Середній обсяг утворення відходів продуктів тваринництва за ці роки становить 5,3 тис. тонн/рік.

### **2.3. Потенціал отримання альтернативного палива від продуктів тваринництва**

Відходи тваринництва, такі як курячі відходи, тваринний жир і різні побічні продукти, можна використовувати для виробництва біодизеля за допомогою таких процесів, як переетерифікація та піроліз. Це перетворення не тільки забезпечує екологічно безпечне рішення для управління відходами [16], [23], але також сприяє виробництву відновлюваних джерел енергії, зменшуючи залежність від викопного палива та пом'якшуючи їх виснаження [24], [25]. Крім того, біодизель, отриманий з відходів тваринництва, може бути економічно ефективною альтернативою традиційному дизельному паливу, оскільки дослідження показують порівнянну продуктивність двигунів без необхідності модифікацій [26]. Крім того, використання відходів тваринництва для виробництва біопалива сприятиме значному скороченню викидів парникових газів.

Авторам [27] вдалось досягти максимальний вихід біодизеля з тваринного жиру з коефіцієнтом у 94% шляхом переетерифікації на основі метилу. У [28] стверджують, що переетерифікація відходів тваринної олії може давати 98,7% біодизеля.

Менше значення отримання біопалива з курячих відходів, що становить 51%, досягли автори [29]. Авторам [30] вдалось отримати біодизельне паливо з коефіцієнтом перетворення 87%. Отже, коефіцієнт перетворення тваринних відходів становить 50-99%.

Потенціал отримання палива від тваринного виробництва розраховується за формулою 2.

$$N_{mn} = N_{m\phi} \cdot k_{m\phi}(2)$$

де:

$N_{mn}$  – кількість отриманого палива від відходів тваринного виробництва, тис. тонн/рік

$N_{me}$  – кількість утворених відходів тваринного виробництва, тис. тонн/рік

$k_{me}$  – коефіцієнт перетворення тваринного виробництва у паливо, в.о.

Середній обсяг утворення відходів продуктів тваринництва становить 5,3 тис. тонн/рік.

Розрахуємо річний потенціал отримання альтернативного палива від відходів продуктів тваринництва:

середній річний потенціал отримання альтернативного палива від відходів продуктів тваринництва знаходиться у діапазоні: від  $N_{mn} = 5,3 \cdot 0,5 = 2,65$  тис. тонн/рік до  $N_{mn} = 5,3 \cdot 0,99 = 5,2$  тис. тонн/рік.

Таблиця 2 – Відходи виробництва продуктів тваринництва у 2017-2020 роках [9]

№	код	назва	Відходи виробництва продуктів тваринництва, тонни			
			2017	2018	2019	2020
1	1511.3.1.06	Продукти виробництва м'яса побічні їстівні перероблені, некондиційні	30,9	29,837	40,11	0,065
2	1511.3.1.10	Жири великої рогатої худоби, свиней, овець, кіз, коней, віслуків, мулів, лошаків і тварин інших некондиційні	356,5	274,362	248,579	229,269
3	1512.1.1.03	Тушки птиці свійської та кролів зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, їх залишки, які не можуть бути використані за призначенням	326,2	130,985	268,467	267,48
4	1512.2.9.03	Ноги птиці свійської	85,1	15	16,3	8,7
5	1512.2.9.09	Лапи кролів	0,5	0,3	-	-
6	1512.2.9.13	Напівфабрикати власного виробництва м'яса свіжого та консервованого птиці свійської та кролів або залишки незакінченого виробництва м'яса свіжого та консервованого птиці свійської та кролів, не придатні для використання за призначенням	2347,7	1643,69	21,5	-
7	1512.3.1.07	Пір'я некондиційне	1062,5	2338,847	2620,819	4201,174
8	1513.1.1.06	Сировина м'ясна інша зіпсована, забруднена або неідентифікована, її залишки, які не можуть бути використані за призначенням	1062,5	3,532	2,93	2,46
9	1513.2.9.01	Шматки м'яса зіпсовані, забруднені або неідентифіковані, їх залишки, які не можуть бути використані за призначенням	612,8	769,82	18,46	39,06
10	1513.3.1.03	Вироби з м'яса птиці свійської та продуктів побічних інших, некондиційні	593,9	690,84	814,33	151,9
<b>Сумарно, тонн</b>			<b>6478,6</b>	<b>5897,213</b>	<b>4051,495</b>	<b>4900,108</b>

На рисунку 1 наведена феноменологічна модель отримання альтернативного моторного палива з відходів виробництва олії та рослинної сировини та тваринних відходів. Ці відходи, що надходять на вхід системи, перетворюючись у компоненти моторного палива створюють енергетичний потенціал отримання альтернативного моторного палива в Україні, роблячи свій внесок у поліпшення енергетичної та екологічної ситуації в країні.

Як відомо [31], на сьогодні активно розвиваються технології продукування альтернативних видів моторного палива, що обумовлено як посиленням екологічних вимог щодо шкідливих викидів в атмосферу так і виснаженням невідновлюваних сировинних ресурсів. Технології виробництва синтетичних і біологічних палив з різних видів сировини дозволяють отримати паливо з близькими показниками якості до традиційних палив, але повністю замінити їх поки що не вдається. Тому сьогодні світовою тенденцією є застосування альтернативних палив, що являють собою суміш (композицію) з нафтовим традиційним паливом у різних співвідношеннях. Наприклад, одним із стандартизованих авіаційних альтернативних палив є синтетичний авіаційний гас SPK (FT-SPK), що виробляється з вугілля, природного газу або біологічної маси за вдосконаленою технологією Фішера-Тропша відповідно до вимог стандарту ASTM D 7566. Даний авіаційний керосин являє собою суміш синтетичного компоненту та традиційного авіаційного нафтового авіаційного палива марки Jet A-1 [32, 33, 34] у максимальному співвідношенні 50:50.

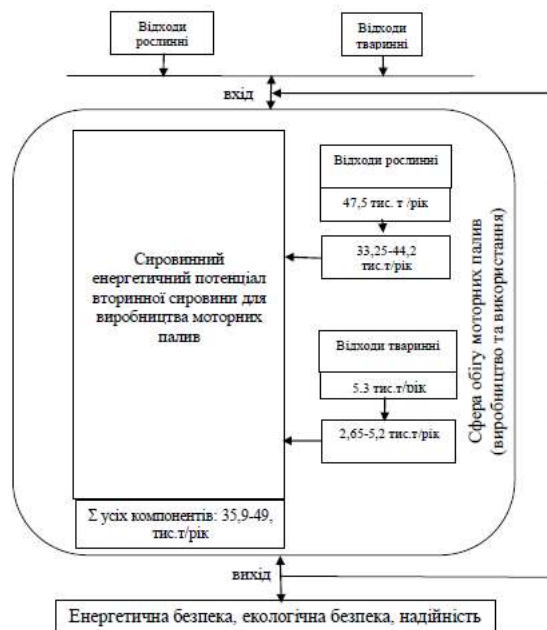


Рисунок 1 - Феноменологічна модель отримання альтернативного моторного палива з харчових відходів

На підставі аналізу літературних даних ми дійшли висновку, що найближчим аналогом в галузі нафтохімії, нафтохімічного синтезу та нафтопереробки є процес гідрокрекінгу нафти [35]. Гідрокрекінг – один з найбільш швидкозростаючих процесів нафтопереробки. За останні 20 років потужності установок гідрокрекінгу виросли в світі в 4 рази і досягли майже 250 млн куб. м сировини на рік. Процес дозволяє підбором відповідних каталізаторів і параметрів технологічного режиму отримувати високий вихід широкого асортименту високоякісних компонентів палив і олів. За допомогою гідрокрекінгу можна одержувати значну кількість легких продуктів за використання як сировини важких нафтових дистилатів, важких нафт, нафтових залишків – малоцінних мазутів, а також відходів харчової галузі (олій після фритюру, тваринних жирів).

### Висновки

За 2017 рік в Україні утворилось 305,1 тис. тонн відходів олійного виробництва, що є потенційним паливом. У 2020 році ця цифра становила 18,78 тис. тонн. Обсяг утворених відходів за 2017 рік значно відрізняється від обсягів утворених відходів олії та рослинної сировини у наступні роки. Тому, середнє значення утворених відходів олії та рослинної сировини під час виробництва розраховувалось за 2018-2020 рр та становить 47,5 тис. тонн/рік.

Відходи виробництва продуктів тваринництва у 2017 році становили 6,5 тис. тонн. У 2020 році обсяг цих відходів становив 4,9 тис. тонн. Середній обсяг утворення відходів продуктів тваринництва за ці роки становить 5,3 тис. тонн/рік.

Підсумовуючи результати дослідження, ми дійшли висновку, що середній річний потенціал отримання альтернативного палива від відходів виробництва олії та рослинної сировини знаходиться у діапазоні 33,25-44,2 тис. тонн/рік, а середній річний потенціал отримання альтернативного палива від відходів продуктів тваринництва знаходиться у діапазоні 2,65-5,2 тис. тонн/рік. Обсяги виробництва палива від відходів ресторанного бізнесу потенційно значно більші. Проте доступ до цих даних, на жаль, поки обмежений.

Отже, сумарний річний потенціал отримання альтернативного палива з відходів виробництва олії та рослинної сировини, а також продуктів тваринництва знаходиться у діапазоні 35,9-49,4 тис. тонн/рік. Висунута нами гіпотеза підтверджена результатами цих досліджень.

На підставі аналізу літературних даних ми дійшли висновку, що найближчим аналогом в галузі нафтохімії, нафтохімічного синтезу та нафтопереробки є процес гідрокрекінгу нафти. Процес дозволяє підбором відповідних каталізаторів і параметрів технологічного режиму отримувати високий вихід широкого асортименту високоякісних компонентів палив і олів. За допомогою гідрокрекінгу можна одержувати значну кількість легких продуктів за використання як сировини важких нафтових дистилатів, важких нафт, нафтових залишків – малоцінних мазутів, а також відходів харчової галузі (олій після фритюру, тваринних жирів).

## Список використаної літератури

1. Цілі сталого розвитку: Україна. Національна доповідь. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. 2017. 174 с. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/цiлi-сталого-розвитку-нацiональнa-доповiдь-2017> (дата звернення: 20.02.2024)
2. Україна за півроку наростила імпорт пального у 12 разів. Українська ENERGETUKA: веб-сайт. URL: <https://ua-energy.org/posts/ukraina-za-pivroku-narostyla-import-palnoho-v-12-raziv> (дата звернення: 02.09.2023)
3. Wan Nur Aifa Wan Azahar, Mastura Bujang, Ramadhansyah Putra Jaya, Mohd Rosli Hainin, Azman Mohamed, Norzita Ngad, Dewi Sri Jayanti. The potential of waste cooking oil as bio-asphalt for alternative binder – An overview. *Jurnal Teknologi*. (2016). 78(4). Pp. 111-116. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8007>
4. Anh N. Phan, Tan M. Phan. Biodiesel production from waste cooking oils. *Fuel*. (2008). Vol. 87, Iss. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.07.008>
5. Рейтинг найбільших ресторанних мереж в Україні: десятка лідерів. 24 Бізнес: веб-сайт. URL: [https://24tv.ua/business/desyat-naybilshih-restorannih-merezh-ukrayini-hto-uvyishov-do\\_n2465086](https://24tv.ua/business/desyat-naybilshih-restorannih-merezh-ukrayini-hto-uvyishov-do_n2465086) (дата звернення: 20.02.2024)
6. Від тримачів для напоїв до біопалива: на що перероблюють відходи в Макдональдз. VGORODE: веб-сайт. URL: [https://kiev.vgorode.ua/news/dosuh\\_y\\_eda/a1176163-vid-trimachiv-dlja-napojiv-do-biopaliva-na-shcho-pererobljujut-vidkhodi-v-makdonaldz](https://kiev.vgorode.ua/news/dosuh_y_eda/a1176163-vid-trimachiv-dlja-napojiv-do-biopaliva-na-shcho-pererobljujut-vidkhodi-v-makdonaldz) (дата звернення: 20.02.2024)
7. Мережа ресторанів “Пузата хата”. ТРУБОЛЮБ: веб-сайт. URL: <https://trubolub.com.ua/uk/projects/set-restoranov-puzata-hata/> (дата звернення: 28.02.2024)
8. Кірюхіна Д.В., Ілляш О.Е. Аналіз стану системи управління промисловими відходами харчової промисловості. II Міжнародна науково-практична конференція “VinSmartEco” 20-21 травня 2021 р.: збірник матеріалів. С. 118-120. URL: <https://docs.academia.vn.ua/handle/123456789/556> (дата звернення 27.02.2024).
9. Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів. Державна служба статистики України: веб-сайт. URL: [https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/ns.htm](https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm) (дата звернення: 20.02.2024).
10. Paramita Dwi Sukmawati. Optimization Of Used Cooking Oil Into Biodiesel With Sulfated Zirconia Zeolite Catalyst. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”*. (2016). J5. URL: <https://core.ac.uk/outputs/305078934>
11. Joshi, S., Hadiya, P., Shah, M. et al. Techno-economical and Experimental Analysis of Biodiesel Production from Used Cooking Oil. *Biophys Econ Resour Qual* 4, 2 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1007/s41247-018-0050-7>
12. Mohamed A. Zayed, Mamoun S. M. Abd El-Kareem, N. H. S. Zaky. Gas Chromatography-Mass Spectrometry Studies of Waste Vegetable Mixed and Pure Used Oils and Its Biodiesel Products. *Journal of Pharmaceutical and Applied Chemistry*. (2017). Vol. 2, Iss: 1, Pp. 30-37. URL: [https://www.researchgate.net/publication/317596936\\_Gas\\_Chromatography-Mass\\_Spectrometry\\_Studies\\_of\\_Waste\\_Vegetable\\_Mixed\\_and\\_Pure\\_Used\\_Oils\\_and\\_Its\\_Biodiesel\\_Products](https://www.researchgate.net/publication/317596936_Gas_Chromatography-Mass_Spectrometry_Studies_of_Waste_Vegetable_Mixed_and_Pure_Used_Oils_and_Its_Biodiesel_Products)
13. Jafar A. Ali, Ribwar K. Abdulrahman, Mohammed H. S. Zangana. The Production of Biodiesel from Animal Tallow to be Used for Electric Generators: A Case Study. *Scientific & Academic Publishing*. (2015). Vol. 5, Iss: 1, pp 17-23. doi:10.5923/j.ep.20150501.03
14. Feddern, V., Cunha, A., De Pra, M. C., de Abreu, P. G., Santos Filho, J. I. dos, Mayumi, M., ... Coldebell, A. (2011). Animal Fat Wastes for Biodiesel Production. *InTech*. doi: 10.5772/26691
15. Chávez-Fuentes, J.J., Capobianco, A., Barbušová, J. et al. Manure from Our Agricultural Animals: A Quantitative and Qualitative Analysis Focused on Biogas Production. *Waste Biomass Valor*. (2017). 8, Pp. 1749–1757 <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9970-5>
16. S. Senthilkumar, S. Ganesan, D Krishana Prasad, K. Krishana Kumar, M. Kannan. Review on usage of animal waste oil in diesel engine. *AIP Conference Proceedings*. (2020). Vol. 2311, Iss: 1, pp 020002. <https://doi.org/10.1063/5.0033969>
17. A. I. M. Idris, A. Salmiaton, Rozita Omar. Pyrolysis—Solvent Extraction of Chicken Fats and Skins for Bio-oil Production. *Energy Sources. Part A. Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. (2015). Vol. 37. Iss. 23. Pp. 2543-2549. DOI: 10.1080/15567036.2012.675411
18. Tamrat Tesfaye, Bruce Sithole, Deresh Ramjugernath. Valorisation of Waste Chicken Feathers: Green Oil Sorbent. *International Journal Of Chemical Sciences*. (2018). Vol. 16, Iss: 3, pp 1-13. DOI: 10.21767/0972-768X.1000282
19. М.М. Муштрук, Ю.Г. Сухенко, І.Г. Брігченко. Відходи переробних підприємств - сировина для виробництва дизельного біопалива. VIII міжнародна науково-практична конференція вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства»: Збірник праць. К.: РВВ НУБІП України, 2019. С. 247- 248.
20. Bahar Riazi, James Mosby, Byron Millet, Sabrina Spatari, Sabrina Spatari. Renewable diesel from oils and animal fat waste: implications of feedstock, technology, co-products and ILUC on life cycle GWP. *Resources Conservation and Recycling (Elsevier)*. (2020). Vol. 161, pp 104944. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104944>
21. Pollardo, A.A., Lee, Hs., Lee, D. et al. Effect of supercritical carbon dioxide on the enzymatic production of biodiesel from waste animal fat using immobilized *Candida antarctica* lipase B variant. *BMC Biotechnol*. (2017). 17, 70. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12896-017-0390-1>
22. Ivana B. Banković-Ilić, Ivan J. Stojković, Olivera S. Stamenković, Vlada B. Veljković, Yung-Tse Hung. Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. *Renewable & Sustainable Energy Reviews (Pergamon)*. (2014). Vol. 32, pp 238-254.
23. Richard L. Skaggs, André M. Coleman, Timothy E. Seiple, Anelia Milbrandt. Waste-to-Energy biofuel production potential for selected feedstocks in the conterminous United States. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. (2018). Vol. 82, Iss: 3, pp 2640-2651.

24. Hashim, M., Akbar, A., Safi, S.Z., Arshad, M., Gul, Z. (2023). Valorization of Animal Waste for the Production of Sustainable Bioenergy. In: Arshad, M. (eds) *Climate Changes Mitigation and Sustainable Bioenergy Harvest Through Animal Waste*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-26224-1\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-031-26224-1_17)
25. Hemanandh Janarthanam, Sridhar Raja Sundara Raju Kachupalli, Senthil Kumar Jayapalan, Ganesan Subbiah, Purusothaman Mani, M. Velkumar, S. Siva Adithya. *Emission and performance analysis of thermochemical conversion of bio-oil using waste animal fat*. Vol. 2311, Iss: 1, pp 020020. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2311/1/020020/1027704/Emission-and-performance-analysis-of?redirectedFrom=fulltext>
26. Barua, P., Dhana Raju, V., Soudagar, M.E.M., Hossain, N. (2022). Animal Fat-Derived Biodiesel and Nano-Technology Applications. In: Guldhe, A., Singh, B. (eds) *Novel Feedstocks for Biofuels Production. Clean Energy Production Technologies*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3582-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3582-4_11)
27. Gokul Raghavendra Srinivasan, Shalini Palani, Ranjitha Jambulingam. Optimised Production of Biodiesel Synthesised from Waste Animal Fat. *Journal of Biofuels*. (2018). Vol. 9, Iss: 1, pp 17-24. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Optimised-Production-of-Biodiesel-Synthesised-from-Srinivasan-Palani/b4144313e4bd3b24c97ba9617e9de01ac4bcc36d>
28. Dandan Pang, Hao Tan, Rongshu Zhu, Feng Ouyang. Producing biodiesel from waste animal oil by modified ZnO. *International Journal of Green Energy*. (2017). Vol. 14, Iss: 8, pp 703-711. <https://doi.org/10.1080/15435075.2017.1324793>
29. Zacharie Merlin Ayissi, Alain Fokoua Fongain, Leonel Tsafack Dongmo, Hossain Nazia, R. Alloune, Innocent Ndoh Mbue, Ruben Mouangue. An Overview of Energy Recovery from Local Slaughterhouse-Based Gallus gallus domesticus Greasy Residues and Latest Applications. *Journal of Combustion*. (2022). Vol. 2022, pp 1-11. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jc/2022/3512194/>
30. Zhiliang Zhang, Jianbing Ji. Waste Pig Carcasses as a Renewable Resource for Production of Biofuels. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. (2015). Vol. 3, Iss: 2, pp 204-209. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/sc500591m?src=recsys>
31. W.A. Chishty, T. Chan, P. Canteenwalla, C.R. Davison, J. Chalmers. Benchmarking data from the experience gained in engine performance and emissions testing on alternative fuels for aviation. *Journal of the Global Power and Propulsion Society*. 2017. P. 195–210. DOI: <https://doi.org/10.22261/S5WGLD>
32. Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимір Лейда. Моторні палива: властивості та якість: підручник, за заг. ред. проф. С.Бойченка. К.: «Центр учбової літератури», 2017. 324 с.
33. Sergii Boichenko, Olexander Aksionov, Petro Topilnytskyi, Andrii Pushak, Kazimierz Lejda. Selected aspects of providing the chemmotological reliability of the engineering: Monograph, under the general editorship of prof. Sergii Boichenko. K.: Center for Educational Literature, 2019. 342 p. DOI: <https://doi.org/10.18372/38195>
34. Boichenko S., Yakovlieva A., Lejda K., Kurdel P. Modern Road Transport's Operational materials. Technical University of Košice, 2020. 279 p. ISBN: 978-80-553-3646-64.
35. Мачинський О.Я., Топільницький П.І. Гідрокрекінг : Монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 348 с.

**S. Boichenko**<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-2489-4980

**S. Dokshyna**<sup>1</sup>, Ph. D. student, Senior Teacher, ORCID 0000-0001-8136-8779

**I. Shkilniuk**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Head of Laboratory, ORCID 0000-0002-8808-3570

**A. Yakovlieva**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-7618-7129

**S. Zubenko**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Chem.), Research Associate, ORCID 0000-0003-2161-5939

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

## **SUBSTANTIATION OF THE POTENTIAL FOR OBTAINING COMPOSITE MOTOR FUEL FROM VEGETABLE OIL AND LIVESTOCK PRODUCTION WASTES**

*Food waste has a negative impact on the environment if it is not handled properly. When organic waste decomposes, it releases methane, a greenhouse gas that contributes to climate change. However, proper management and disposal of food waste can significantly reduce its negative impact. On the other hand, Ukraine has an unresolved issue of high waste intensity. Industrial and household waste is often not properly sorted and recycled, leading to its accumulation in landfills and dumps. Another painful issue is Ukraine's fuel dependence on European countries. Therefore, the production of domestic alternative motor fuels is a promising way to increase fuel independence. The latter can be produced from food waste, thus solving both the issue of waste intensity and fuel dependence.*

*Therefore, the purpose of this study is to determine the potential for obtaining domestic alternative fuels from food waste. The object of the study is food waste generated in the course of the restaurant business, vegetable oil production and livestock farming in Ukraine. The subject of the study is the methods and technologies for converting food waste into composite motor fuel and their potential to reduce the environmental burden and increase Ukraine's fuel independence. The working hypothesis of the study is that the establishment of an ecological system for the collection and conversion of these wastes can partially resolve the energy situation in the country.*



This article describes the harm that food waste can cause to the environment, analyses the global experience of recycling this waste, analyses the largest restaurant chains, analyses waste from vegetable oil production and livestock production in recent years, analyses the conversion factors of food waste into composite motor fuels, and calculates the potential for producing alternative fuels from food waste for Ukraine.

The study found that the average annual potential for alternative fuel production from oil and vegetable raw material waste is in the range of 33.25-44.2 thousand tonnes/year, and the average annual potential for alternative fuel production from animal waste is in the range of 2.65-5.2 thousand tonnes/year. The volume of fuel production from restaurant waste is potentially much higher. However, access to this data is unfortunately still limited. Thus, the total annual potential for alternative fuel production from oil and vegetable waste, as well as animal products, is in the range of 35.9-49.4 thousand tonnes per year. Our hypothesis is confirmed by the results of these studies.

The research is carried out within the framework of the project "Development of technological solutions for the production of composite motor fuels from secondary raw materials to improve energy security" at the expense of the state budget in accordance with the order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1572 of 27.12.2023 "On approval of the list of projects of basic research, applied research, scientific and technical (experimental) developments, executed by higher education institutions and scientific institutions belonging to the Ministry of Education and Science of Ukraine".

**Keywords:** food waste utilisation, alternative motor fuels, composite motor fuels, waste intensity, fuel independence, environmental protection, recycling, ecology.

### References

1. Sustainable development goals: Ukraine. National report. Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine. (2024, 20 February). UNDP. [In Ukrainian]. Retrieved from: URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/цілі-сталого-розвитку-національна-доповідь-2017>
2. Ukraine has increased fuel imports 12 times in six months. (2023, 2 September). *Ukrainska ENERGETUKA*. [In Ukrainian]. Retrieved from: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukraina-za-pivroku-narostyla-import-palnoho-v-12-raziv>
3. Wan Nur Aifa Wan Azahar, Mastura Bujang, Ramadhansyah Putra Jaya, Mohd Rosli Hainin, Azman Mohamed, Norzita Ngad, Dewi Sri Jayanti. The potential of waste cooking oil as bio-asphalt for alternative binder – An overview. *Jurnal Teknologi*. (2016). 78(4). Pp. 111-116. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8007>
4. Anh N. Phan, Tan M. Phan. Biodiesel production from waste cooking oils. *Fuel*. (2008). Vol. 87, Iss. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.07.008>
5. Rating of the largest restaurant chains in Ukraine: top ten leaders. (2024, 20 February). *24 Biznes* [In Ukrainian]. Retrieved from: [https://24tv.ua/business/desyat-naybilshih-restorannih-merezh-ukrayini-hto-uviyshov-do\\_n2465086](https://24tv.ua/business/desyat-naybilshih-restorannih-merezh-ukrayini-hto-uviyshov-do_n2465086)
6. From drink holders to biofuel: what McDonald's recycles waste into. (2024, 20 February). *VGORODE* [In Ukrainian]. Retrieved from: [https://kiev.vgorode.ua/news/dosuh\\_y\\_eda/a1176163-vid-trimachiv-dlja-napojiv-do-biopalivana-shcho-pererobljujut-vidkhodi-v-makdonaldz](https://kiev.vgorode.ua/news/dosuh_y_eda/a1176163-vid-trimachiv-dlja-napojiv-do-biopalivana-shcho-pererobljujut-vidkhodi-v-makdonaldz)
7. Puzata Khata restaurant chain. (2024, 28 February). *TRUBOLiUB* [In Ukrainian]. Retrieved from: <https://trubolub.com.ua/uk/projects/set-restoranov-puzata-hata/>
8. Kiriukhina D.V., Illiash O.E. (2021). Analysing the state of the food industry's industrial waste management system. *II Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia "VinSmartEco" 20-21 travnia 2021 r.: zbirnyk materialiv*. (pp. 118-120). Retrieved from: <https://docs.academia.vn.ua/handle/123456789/556> [In Ukrainian]
9. Waste generation by classification groups of the state waste classifier. (2024, 20 February). *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy* [In Ukrainian]. Retrieved from: [https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/ns.htm](https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm)
10. Paramita Dwi Sukmawati. Optimization Of Used Cooking Oil Into Biodiesel With Sulfated Zirconia Zeolit Catalyst. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. (2016). J5. URL: <https://core.ac.uk/outputs/305078934>
11. Joshi, S., Hadiya, P., Shah, M. et al. Techno-economical and Experimental Analysis of Biodiesel Production from Used Cooking Oil. *Biophys Econ Resour Qual* 4, 2 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1007/s41247-018-0050-7>
12. Mohamed A. Zayed, Mamoun S. M. Abd El-Kareem, N. H. S. Zaky. Gas Chromatography-Mass Spectrometry Studies of Waste Vegetable Mixed and Pure Used Oils and Its Biodiesel Products. *Journal of Pharmaceutical and Applied Chemistry*. (2017). Vol. 2, Iss: 1, Pp. 30-37. URL: [https://www.researchgate.net/publication/317596936\\_Gas\\_Chromatography-Mass\\_Spectrometry\\_Studies\\_of\\_Waste\\_Vegetable\\_Mixed\\_and\\_Pure\\_Used\\_Oils\\_and\\_Its\\_Biodiesel\\_Products](https://www.researchgate.net/publication/317596936_Gas_Chromatography-Mass_Spectrometry_Studies_of_Waste_Vegetable_Mixed_and_Pure_Used_Oils_and_Its_Biodiesel_Products)
13. Jafar A. Ali, Ribwar K. Abdulrahman, Mohammed H. S. Zangana. The Production of Biodiesel from Animal Tallow to be Used for Electric Generators: A Case Study. *Scientific & Academic Publishing*. (2015). Vol. 5, Iss: 1, pp 17-23. doi:10.5923/j.ep.20150501.03
14. Feddern, V., Cunha, A., De Pra, M. C., de Abreu, P. G., Santos Filho, J. I. dos, Mayumi, M., ... Coldebell, A. (2011). Animal Fat Wastes for Biodiesel Production. *InTech*. doi: 10.5772/26691
15. Chávez-Fuentes, J.J., Capobianco, A., Barbušová, J. et al. Manure from Our Agricultural Animals: A Quantitative and Qualitative Analysis Focused on Biogas Production. *Waste Biomass Valor*. (2017). 8, Pp. 1749-1757 <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9970-5>
16. S. Senthilkumar, S. Ganesan, D Krishana Prasad, K. Krishana Kumar, M. Kannan. Review on usage of animal waste oil in diesel engine. *AIP Conference Proceedings*. (2020). Vol. 2311, Iss: 1, pp 020002. <https://doi.org/10.1063/5.0033969>

17. A. I. M. Idris, A. Salmiaton, Rozita Omar. Pyrolysis—Solvent Extraction of Chicken Fats and Skins for Bio-oil Production. *Energy Sources. Part A. Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. (2015). Vol. 37. Iss. 23. Pp. 2543-2549. DOI: 10.1080/15567036.2012.675411
18. Tamrat Tesfaye, Bruce Sithole, Deresh Ramjugernath. Valorisation of Waste Chicken Feathers: Green Oil Sorbent. *International Journal Of Chemical Sciences*. (2018). Vol. 16, Iss: 3, pp 1-13. DOI: 10.21767/0972-768X.1000282
19. M.M. Mushtuk, Yu.H. Sukhenko, I.H. Britchenko. (2019). Waste from processing plants as a raw material for diesel biofuel production. *VIII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia vchenykh, aspirantiv i studentiv «Naukovi zdobutky u vyrishenni aktualnykh problem vyrobnytstva ta pererobky syrovyny, standartyzatsii i bezpeky prodovolstva»: Zbirnyk prats.* (pp. 247- 248). K.: RVV NUBiP Ukrainy [In Ukrainian].
20. Bahar Riazzi, James Mosby, Byron Millet, Sabrina Spatari, Sabrina Spatari. Renewable diesel from oils and animal fat waste: implications of feedstock, technology, co-products and ILUC on life cycle GWP. *Resources Conservation and Recycling (Elsevier)*. (2020). Vol. 161, pp 104944. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104944>
21. Pollardo, A.A., Lee, Hs., Lee, D. et al. Effect of supercritical carbon dioxide on the enzymatic production of biodiesel from waste animal fat using immobilized *Candida antarctica* lipase B variant. *BMC Biotechnol.* (2017). 17, 70. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12896-017-0390-1>
22. Ivana B. Banković-Ilić, Ivan J. Stojković, Olivera S. Stamenković, Vlada B. Veljković, Yung-Tse Hung. Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. *Renewable & Sustainable Energy Reviews (Pergamon)*. (2014). Vol. 32, pp 238-254.
23. Richard L. Skaggs, André M. Coleman, Timothy E. Seiple, Anelia Milbrandt. Waste-to-Energy biofuel production potential for selected feedstocks in the conterminous United States. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. (2018). Vol. 82, Iss: 3, pp 2640-2651.
24. Hashim, M., Akbar, A., Safi, S.Z., Arshad, M., Gul, Z. (2023). Valorization of Animal Waste for the Production of Sustainable Bioenergy. In: Arshad, M. (eds) *Climate Changes Mitigation and Sustainable Bioenergy Harvest Through Animal Waste*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-26224-1\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-031-26224-1_17)
25. Hemanandh Janarthanam, Sridhar Raja Sundara Raju Kachupalli, Senthil Kumar Jayapalan, Ganesan Subbiah, Purusothaman Mani, M. Velkumar, S. Siva Adithya. *Emission and performance analysis of thermochemical conversion of bio-oil using waste animal fat*. Vol. 2311, Iss: 1, pp 020020. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2311/1/020020/1027704/Emission-and-performance-analysis-of?redirectedFrom=fulltext>
26. Barua, P., Dhana Raju, V., Soudagar, M.E.M., Hossain, N. (2022). Animal Fat-Derived Biodiesel and Nano-Technology Applications. In: Guldhe, A., Singh, B. (eds) *Novel Feedstocks for Biofuels Production. Clean Energy Production Technologies*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3582-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3582-4_11)
27. Gokul Raghavendra Srinivasan, Shalini Palani, Ranjitha Jambulingam. Optimised Production of Biodiesel Synthesised from Waste Animal Fat. *Journal of Biofuels*. (2018). Vol. 9, Iss: 1, pp 17-24. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Optimised-Production-of-Biodiesel-Synthesised-from-Srinivasan-Palani/b4144313e4bd3b24c97ba9617e9de01ac4bcc36d>
28. Dandan Pang, Hao Tan, Rongshu Zhu, Feng Ouyang. Producing biodiesel from waste animal oil by modified ZnO. *International Journal of Green Energy*. (2017). Vol. 14, Iss: 8, pp 703-711. <https://doi.org/10.1080/15435075.2017.1324793>
29. Zacharie Merlin Ayissi, Alain Fokoua Fongain, Leonel Tsafack Dongmo, Hossain Nazia, R. Alloune, Innocent Ndoh Mbue, Ruben Mouangue. An Overview of Energy Recovery from Local Slaughterhouse-Based *Gallus gallus domesticus* Greasy Residues and Latest Applications. *Journal of Combustion*. (2022). Vol. 2022, pp 1-11. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jc/2022/3512194/>
30. Zhiliang Zhang, Jianbing Ji. Waste Pig Carcasses as a Renewable Resource for Production of Biofuels. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. (2015). Vol. 3, Iss: 2, pp 204-209. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/sc500591m?src=recsys>
31. W.A. Chishty, T. Chan, P. Canteenwalla, C.R. Davison, J. Chalmers. (2017). Benchmarking data from the experience gained in engine performance and emissions testing on alternative fuels for aviation. *Journal of the Global Power and Propulsion Society*, 195–210. DOI: <https://doi.org/10.22261/S5WGLD>
32. Serhii Boichenko, Andrii Pushak, Petro Topilnytskyi, Kazymir Leida. (2017). *Motor fuels: properties and quality: textbook, in general. ed. Prof. S. Boichenko*. K.: «Tsentr uchbovoi literatury» [in Ukrainian].
33. Sergii Boichenko, Olexander Aksionov, Petro Topilnytskyi, Andrii Pushak, Kazimierz Lejda. (2019). Selected aspects of providing the chemmotological reliability of the engineering: Monograph, under the general editorship of prof. Sergii Boichenko. K.: Center for Educational Literature, 2019. 342 p. DOI: <https://doi.org/10.18372/38195>
34. Boichenko S., Yakovlieva A., Lejda K., Kurdel P. *Modern Road Transport's Operational materials*. Technical University of Košice, 2020. 279 p. ISBN: 978-80-553-3646-64.
35. Machynskyi O.Ia., Topilnytskyi P.I. (2011). *Hydrocracking: Monograph*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki [in Ukrainian].

Надійшла: 09.07.2024

Received: 09.07.2024