

УДК 662.767:637

ПЕРЕРОБКА ТВАРИННИХ ЖИРІВ У БІОЛОГІЧНЕ ПАЛИВО: ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Сухенко В.Ю.¹ докт. техн. наук, Авдєєва Л.Ю.² докт. техн. наук, Муштрук М.М.³ канд. техн. наук

¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, провідний науковий співробітник, vladssuhenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8325-3331>

²Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, провідний науковий співробітник, avdeeva22@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-3434-1669>

³Національний університет біотехнологій і природокористування України, вул. Героїв Оброни, 15 Київ, 03041, Україна, mshtruk@nubip.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0002-3646-1226>

<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2023.10>

В статті досліджено можливості переробки жиромісних відходів птахівництва у біологічне дизельне паливо та його потенціал, як сталого джерела енергії. Розглядаються різні технологічні аспекти виробництва, екологічні переваги та виклики. Висвітлюються різнопланові підходи та майбутні перспективи технологій.

This article explores the possibilities of processing fat-containing poultry fat waste into biodiesel and its potential as a sustainable energy source. Various technological aspects of production, environmental advantages and challenges are considered. Various approaches and future perspectives of technologies are highlighted.

Бібл. 14, табл. 1, рис. 2.

Ключові слова: тваринні жири, птахівництво, дизельне біопаливо, переестерифікація, технології, екологія.

КТЖ - курячий технічний жир;

ВЖК - вільні жирні кислоти;

КЧ – кислотне число.

Постановка проблеми. У сучасному світі, де питання сталості та екологічної безпеки стають все більш актуальними, пошук альтернативних джерел енергії та сировинної бази для них набуває особливої ваги. Останнім часом все частіше обговорюється необхідність заміни палива з нафти, вугілля та газу на біопаливо. Дизельне біопаливо, виготовлене з дешевої сировини, здатне конкурувати з традиційними паливами нафтового походження, особливо це стосується не токсичності, екологічної чистоти і відсутності сірки [1]. Сировиною для виробництва біопалива з використанням метилових та етилових ефірів жирних кислот можуть бути рослинні олії, тваринний та птишиний жир, сало, жовтий жир та побічні продукти рибництва. Однією з перспективних та інноваційних концепцій є використання біологічного палива з тваринних жирів [2].

У реальних умовах виробництва не виключено періодичні викиди жирових відходів, що призводить до втрат жирутримуючої сировини, що погіршує екологічну ситуацію [1]. Завданням птахопереробної

промисловості є отримання, як харчових продуктів із високоякісної сировини, так і одночасно іншої продукції із метою зменшення відходів виробництва [3]. Виробництво побічних продуктів тваринного походження, як частина ланцюга переробки м'яса та птиці, є дуже суттєвим, як в Україні, та і у ЄС. У Європейському Союзі це майже 17 мільйонів тонн на рік [4]. Більшість відходів є результатом вирощування понад 328 мільйонів свиней, вівець, яловичини, кіз і великої рогатої худоби молочного напрямку, а також 6 мільярдів курей, індиків та іншої птиці, яку щороку забивають у ЄС [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує безліч видів палив з біовідходів. Розрізняють газоподібне біопаливо (біогаз, водень), одержуване за рахунок розкладання органічних залишків бактеріями (ферментація), тверде біопаливо (деревина, солома, лушпиння). Найбільш комерційно використовуваним коротколанцюговим спиртом для реакції переестерифікації є метанол через його низьку ціну, але є дослідження з використання і інших спиртів, таких, як етанол, про-

панол і бутанол [6]. Іншими авторами було встановлено, що лише сировина становить понад 75% від загальної вартості виробництва біодизеля, тому вибір найкращої і найдешевшої сировини є життєво важливим для забезпечення низьких витрат виробництва. Також було виявлено, що безперервність процесу переестерифікації є ще одним вибором для мінімізації виробничих витрат. В даний час біодизель може бути більш ефективним, якщо використовувати його як доповнення до інших джерел енергії. Свого часу авторами Alptekin та Canakci деякі дослідження для виробництва метилових ефірів, для виробництва яких використовувався недорогий курячий жир вже проводились. Після зниження рівня вільної жирної кислоти в курячому жирі менше ніж на 1%, реакцію переестерифікації вони завершували за допомогою лужного каталізатора. Гідроксид калію, гідроксид натрію, метоксид калію та метоксид натрію використовували як каталізатор, а метанол використовували як спирт для реакцій переестерифікації. Було досліджено вплив типу каталізатора, температури реакції та часу реакції на паливні властивості метилових ефірів. [7,13].

Нашим науковим інтересом був аналіз, підбір та визначення найбільш ефективного каталізатора для зниження рівня ВЖК при естерифікації курячого жиру, а також визначення залежності досягнення оптимального результату від молярного співвідношення метанол/жир, кількості та виду кислотного каталізатора, а також зовнішнім умовам проходження реакції.

Метою роботи є аналіз процесу переробки жировмісних відходів птахопереробних підприємств на біологічне паливо та дослідження його потенціалу у забезпеченні сталої та екологічно чистої енергетики.

Для досягнення вказаної мети вирішувалися наступні завдання:

- вивчення хімічного складу жировмісних відходів, що утворюються при технологічних операціях на птахофабриках;
- збирання жировмісних відходів;
- гідрування вилученого жиру;
- дослідження можливості отримання біопалива способом переестерифікації жирів.

Матеріали та методи досліджень. У дослідженнях використовували курячий технічний жир (КТЖ), який був підігрітий до 75-80°C і витриманий при цій температурі протягом однієї години при постійному перемішуванні для видалення вологи, а потім профільтований для відділення нерозчинних домішок.

Автори роботи [9] вважають, що рівень вільних жирних кислот (ВЖК) у сировині треба знизити до 1% перед застосуванням лужного каталізатора для вико-

нання переестерифікації жиру. Тому першим кроком у дослідженнях була попередня підготовка КТЖ. Жир, що використовувався, мав кислотне число (КЧ) 5-45 мг КОН/г. Оскільки КЧ жиру було більше 2 мг КОН/г, то необхідно було провести естерифікацію цієї сировини.

Визначення вмісту неомілованих речовин та мінеральних речовин (золи) здійснювали стандартними методами за ДСТУ ISO 3596:2004. КЧ (кількість ВЖК) визначали за методикою ДСТУ EN ISO 660:2019 Визначення кислотного числа та кислотності. Кількість синтезованих метилових ефірів жирних кислот, щільність біопалива та вміст у ньому сірки визначали відповідно до ДСТУ EN 14214:2019 Автомобільне паливо. Метиллові ефіри жирних кислот (FAME) для дизельних двигунів. Вимоги та методи випробування.

Для витоплювання жиру суміш, що містить жир, була подрібнена, до неї додана вода у співвідношенні субстрат / вода 2:1. Суміш нагрівалася до температури 75-80 °C та витримувалася протягом 40 хвилин.

Відділення жиру від водно-білкової частини здійснювали центрифугуванням при частоті обертання ротора центрифуги 3000-3500 об/хв протягом 20 хвилин. На рис. 1 представлена залежність виходу жиру від температури витоплювання.

Характер кривої (рис. 1) свідчить про те, що в міру підвищення температури від 55 до 80 °C вихід жиру збільшується на 28%. Під час підйому температури до 100 °C він знижується. Причиною цього є, мабуть, утворення ліпід-білкових комплексів при надмірному підвищенні температури. Таким чином, оптимальним рівнем температури витоплювання є інтервал 78-82 °C.

За вказаної температури інтенсифікуються процеси теплової денатурації білків, руйнується структура клітин, що забезпечує підвищення виходу жиру до 83%.

Естерифікація. Для попередньої обробки КТЖ застосовували метанол, а у якості каталізатора випробовували сірчану (H_2SO_4), соляну (HCl) і азотну (HNO_3) кислоти [11,12]. Естерифікацію ВЖК проводили при різних молярних співвідношеннях спирт/жир, концентраціях кислотних каталізаторів та тривалості реакції. Експерименти проводили з нагріванням реакційної суміші до 60°C на лабораторній установці (рис. 2.).

Переестерифікація. У реакції молярне співвідношення спирт / жир становило 6:1, кількість каталізатора КОН брали 1% до маси вихідної кількості жиру. Також було враховано надлишок каталізатора для нейтралізації залишку ВЖК, який розраховувався, за формулою: $\% \text{ВЖК} \times 0,64 + 1,7\%$ для КОН, або за формулою: $\% \text{ВЖК} \times 0,78 + 2,0\%$ для NaOH [10]. Процес

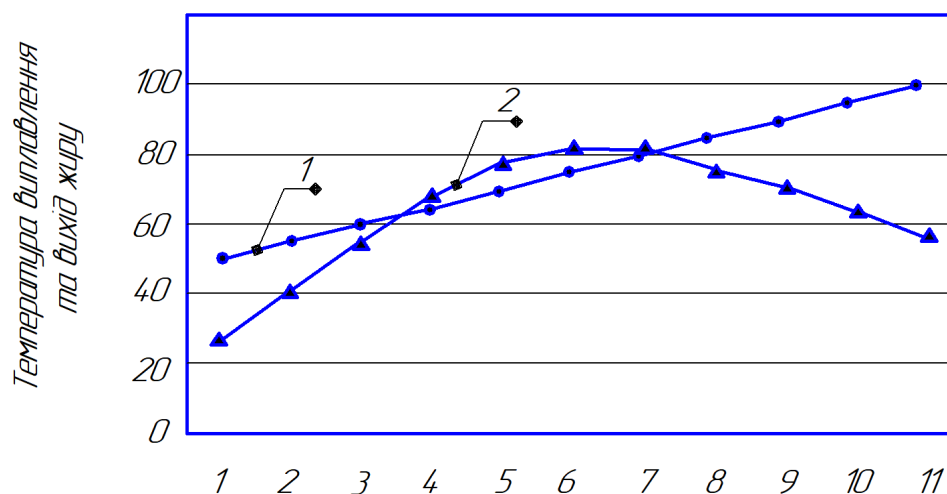


Рис. 1. Залежність виходу жиру від температури виплавлення:
 1 – температура плавлення, °C, 2 – вихід жиру, %

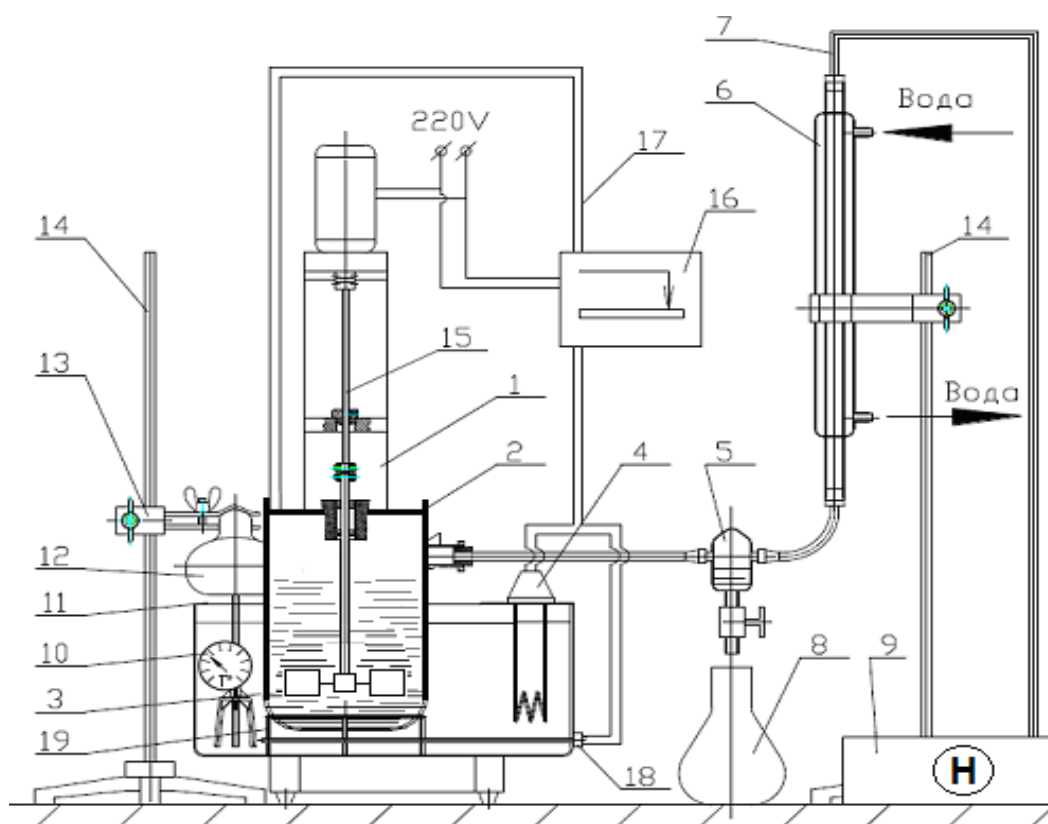


Рис. 2. Лабораторна установка для дослідження процесу одержання дизельного біопалива:
 1 – штатив із двигуном, 2 – колба для реагентів, 3 – мішалка, 4 – термостат, 5 – збірка конденсату,
 6 – холодильник, 7 – трубопровід, 8 – колба для збору конденсату, 9 – вакуумний насос,
 10 – термометр, 11 – водяна баня, 12 – мішалка, 13 – фіксатор, 14 – штатив, 15 – вал мішалки,
 16 – терморегулятор, 17 – кабель, 18 – температурний датчик, 19 – підставка

переестерифікації проводили на тій самій лабораторній установці (рис. 2). Реакцію проводили при температурі 25 і 60 °С, а час реакції був у межах від 1 до 4 год. Після переестерифікації гліцериновий шар відокремлювали, а метиловий ефір, що утворюється, промивали теплою водою, фільтрували і висушували. Зразки отриманих метилових ефірів випробували у спеціалізованій лабораторії.

При аналізі **результатів досліджень** у роботах [10, 14] пропонується зменшувати високий рівень ВЖК у сировині за рахунок проведення двох або трьох послідовних етапів естерифікації. Це рекомендується тому, що збільшення кількості ВЖК знижує вихід ефірів завдяки розчинності жирів та ефірів у метанолі [14]. Тому було вжито спроба отримати належний рівень ВЖК вже на першому етапі, щоб забезпечити високий вихід ефіру та зменшити тривалість синтезу дизельного біопалива.

Естерифікація КТЗ із сірчаною кислотою. Як еталонний каталізатор була обрана концентрована сірчана кислота. Реакцію естерифікації проводили при різних молярних співвідношеннях спирт/КТЗ (10:1, 15:1, 20:1, 25:1, 30:1) і кількостях каталізатора H_2SO_4 (3%, 6%, 15%, 20%, 35%), залежно від рівня ВЖК, протягом однієї години при температурі 60°C. Початкові експерименти проводили з 3% та 6% каталізатора при різних молярних співвідношеннях метанол/жир. Рівень ВЖК вдалося зменшити до 11,25% при використанні 6% H_2SO_4 та молярному співвідношенні метанол/жир 30:1. Стало очевидним, що необхідно збільшувати кількість H_2SO_4 та метанолу. Наступні умови естерифікації були такими: молярні співвідношення метанол/жир 20:1 та 30:1, кількість H_2SO_4 - 15%, 20% та 35%. Час та температуру реакції не змінювали. Рівень ВЖК зменшувався зі збільшенням кількості H_2SO_4 та метанолу порівняно з попередньою реакцією. Наприклад, рівень ВЖК зменшився до 6,26 %, 2,27 % та 1,20 % при застосуванні відповідно 15%, 20% і 35% H_2SO_4 з метанолом у молярному співвідношенні до жиру 20:1. Наприклад, основною метою естерифікації високоокислотних жирів є зниження рівня ВЖК приблизно до 1%. При використанні співвідношення метанол/жир 30:1 рівень ВЖК знизився до 4,92 %, 1,40 % і 1,04% за наявності 15%, 20% та 35% H_2SO_4 відповідно.

Естерифікація із соляною кислотою. Були повторені досліди з 6%, 15% і 20% HCl та метанолом у молярному співвідношенні до жиру 20:1 та 30:1. Застосування 6% HCl не було ефективним. Рівень ВЖК

зменшився до 12,99% та 12,46 % при використанні метанолу у співвідношенні 20:1 та 30:1, відповідно. Коли кількість HCl збільшили до 15% та 20%, рівень ВЖК зменшився, відповідно, до 5,26 % та 2,83 % при використанні метанолу у співвідношенні до жиру 20:1. При використанні співвідношення метанол/жир 30:1 рівень ВЖК зменшився до 3,89 % та 1,67 % у разі застосування відповідно, 15 % та 20 % HCl . Рівень ВЖК був знижений до 1 % при використанні 20 % HCl , молярному співвідношенні метанол/жир 30:1 та збільшенні тривалості реакції до 90 хв. Кінетики естерифікації із сірчаною та соляною кислотами виявилися дуже схожими [10,15].

Естерифікація з азотною кислотою. Азотна кислота HNO_3 погано розчиняється у метанолі. Тому її потрібно нагрівати до 45 °С, щоб одержати суміш спиртово-кислотного реагенту. Застосування 6% HNO_3 не було ефективним. Рівень ВЖК зменшився до 12,78 % та 12,32 % при використанні метанолу у співвідношенні до жиру 20:1 та 30:1 відповідно. Коли кількість HNO_3 збільшили до 15 %, рівень ВЖК зменшився до 11,97 % при використанні метанолу у співвідношенні до жиру 30:1. Тому дослідження естерифікації КТЗ з використанням HNO_3 були скасовані як безперспективні.

Таким чином, каталіз концентрованою сірчаною кислотою дав кращі результати. Враховуючи, що основною метою естерифікації було зниження рівня ВЖК КТЗ до 1%, експерименти з її застосуванням продовжили. Додавання 35% концентрованої сірчаної кислоти до маси жиру показало більш повне перетворення ВЖК, але втрати вихідної сировини після естерифікації були більшими. Тому, як каталізатор слід застосовувати 20 % сірчаної кислоти, збільшивши при цьому молярне співвідношення метанол/жир до 40:1, що забезпечує зниження кількості ВЖК до рівня нижче 1%.

Вплив часових режимів на зниження рівня ВЖК. Дослідження проводилися при температурі 60 °С при застосуванні трьох тривалостей проходження реакції— 60, 70 та 80 хв. Рівні ВЖК були відповідно, 0,93%, 0,80% і 0,67% після реакції протягом 60, 70 і 80 хв з 20% H_2SO_4 і молярному співвідношенні метанол/жир 40:1. Таким чином, рівень ВЖК був менше 1% у всіх експериментах. Естерифікація з 20% каталізатора H_2SO_4 при молярному відношенні метанол/жир 40:1 протягом 80 хв при температурі 60 °С дозволяє стабільно знижувати кількість ВЖК до рівня менше 1%, що гарантує забезпечення високого виходу дизельного біопалива після процесу переестерифікації.

Характеристика палива після переестерифікації.

Після естерифікації рівень ВЖК у жирі становив 0,67%, що є достатньою умовою для проведення реакції переестерифікації жиру метанолом у присутності лужних каталізаторів. Було досліджено вплив виду каталізатора, температури реагентів та тривалості реакції на властивості дизельного біопалива. Результати досліджень представлені у табл. 1.

Вихід біопалива збільшувався зі збільшенням температури реакції від 25 °С до 60 °С, але суттєво не змінювався зі збільшенням тривалості реакції. Мінімальний вихід дизельного біопалива становив 71,3% (за чотири години реакції при 25 °С з каталізатором NaOH), а максимальний – 88,5 % (за 60 хв. реакції при 60 °С з каталізатором KOH).

Як правило, густина дизельного біопалива зменшується зі збільшенням часу та температури реакції.

Очевидно (табл. 1), немає істотної різниці між густиною палива після переестерифікації, що проводиться з метилатами калію та натрію KOMe та NaOMe порівняно з KOH та NaOH [10,16]. В'язкість палива зменшується зі збільшенням часу та температури реакції, але існує значна різниця між в'язкістю при використанні KOMe та NaOMe порівняно з KOH та NaOH. Вміст залишкового метанолу в паливі коливається від 0,01 до 0,20%. Це вказує на те, що вміст метанолу в біопаливі майже не залежить від параметрів реакції переестерифікації.

Враховуючи отримані дані спостерігається зменшення в'язкості біопалива зі збільшенням температури реакції. Можемо стверджувати, що густина, температура спалаху, вміст метанолу, температура застигання, теплота згоряння, кислотне число та корозія на мідній платівці дизельного біопалива суттєво не залежать від параметрів реакції переестерифікації.

Таблиця 1. Властивості дизельного біопалива із технічного курячого жиру*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
g	25	1	886	1	170	0.04	4	40	0.03	0.30	5.4	80
g	25	2	885	1	171	0.11	3	40	0.03	0.29	5.2	82
g	25	4	884	1	172	0.13	3	40	0.03	0.25	5.1	85
g	60	1	885	1	171	0.01	2	40	0.03	0.25	5.1	88
g	60	2	884	1	171	0.01	2	40	0.04	0.24	5.0	87
f	25	1	885	1	170	0.12	3	40	0.02	0.30	5.4	73
f	25	2	885	1	172	0.06	2	40	0.03	0.29	5.3	72
f	25	4	884	1	172	0.03	2	40	0.02	0.24	5.2	71
f	60	1	885	1	171	0.20	2	40	0.02	0.28	5.2	79
f	60	2	884	1	172	0.08	2	40	0.01	0.24	5.1	78
j	25	1	891	1	170	0.02	4	40	НП	0.30	6.7	85
j	25	2	890	1	172	0.01	3	40	0.02	0.27	6.3	83
j	25	4	888	1	172	0.01	3	40	0.01	0.25	5.8	82
j	60	1	887	1	171	0.01	3	40	0.01	0.29	5.6	89
j	60	2	886	1	172	0.01	3	40	0.01	0.26	5.6	85
j	60	4	886	1	172	0.01	3	40	0.01	0.24	5.6	86
s	25	1	891	1	171	0.03	4	39	НП	0.30	6.8	76
s	25	2	890	1	171	0.12	3	40	0.02	0.28	6.2	79
s	25	4	888	1	172	0.05	3	40	0.04	0.25	5.9	80
s	60	1	886	1	171	0.20	2	40	0.02	0.26	5.4	86
s	60	2	886	1	173	0.12	2	40	0.01	0.25	5.5	85

* 1 - каталізатор (g - KOH, f - NaOH, j - KOMe, s - NaOMe), 2 - температура реакції (°С), 3 - час реакції (година), 4 - щільність (15 °С, кг / м³), 5 – корозія мідної пластини (ступінь корозії), 6 – температура спалаху в закритому тиглі (°С), 7 – вміст метанолу (%), 8 – температура застигання (°С), 9 – теплота згоряння (МДж/кг), 10 - вільний гліцерин (%), 11 - кислотне число (мг KOH / г), 12 - в'язкість (40 °С, мм² / с), 13 - вихід дизельного біопалива (%), НП - не перевіряли.

Температура спалаху в закритому тиглі стабільна і знаходиться в діапазоні 170–173 °С. КЧ жиру після естерифікації становило 0,67 мг КОН/г, а після переестерифікації КЧ палива зменшилось до 0,22–0,3 мг КОН/г. Теплота згоряння палива близька до 40 мДж/кг і дещо нижча, ніж у нафтового дизельного палива, що притаманно дизельному біопаливу. Ступінь корозії мідної пластини є стабільно низьким, що вказує на низький рівень агресивності палива стосовно деталей дизельного двигуна.

Висновки та рекомендації

1. Сірчана кислота є одним з найефективніших каталізаторів для зниження рівня ВЖК при естерифікації курячого жиру.
2. Зниження рівня ВЖК при естерифікації курячого жиру істотно залежить від молярного співвідношення метанол/жир, кількості та виду кислотного каталізатора, а також тривалості реакції.
3. Початковий рівень ВЖК у курячому жирі (15–27%) може бути зменшено до 1% при використанні 20% H_2SO_4 до маси жиру та метанолу у молярному співвідношенні до жиру 40:1 у реакції при температурі 60 °С протягом 80 хв [16].

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз перспектив та питань сталості виробництва рідких моторних біопалив в ЄС та в Україні // Теплофізика та теплоенергетика, – 2023, т. 45, № 1, с. 46–54. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.6>
2. Zappi M., Hernandez R., Sparks D., Horne J., Brough M., Arora S.M., Motsenbocker W. D. A review of the engineering aspects of the biodiesel industry//Mississippi Biomass Council. – Jackson MS, 2003. https://www.researchgate.net/publication/228371677_A_review_of_the_engineering_aspects_of_the_biodiesel_industry
3. M.W. Vis, D. van den Berg. Biomass Energy Europe Harmonization of biomass resource assessments. Volume I. Best Practices and Methods Handbook.- November 2010. - 220 p. <https://doi.org/10.13140/2.1.4643.8084>
4. Zalouk, S.; Barbat, S.; Sargent, M.; Ambrosio, M. Disposal of animal by-products by wet air oxidation: Performance optimization and kinetics. Chemosphere 2009, 74, 193–199. [Google Scholar] [CrossRef]
5. Rosson, E.; Sgarbossa, P.; Pedrielli, F.; Mozzon, M.; Bertani, R. Bioliquids from raw waste animal fats: An alternative renewable energy source. Biomass Convers. Biorefinery 2020, 1–16. [Google Scholar] [CrossRef]
6. Alptekin, E.; Canakci, M. Optimization of pretreatment reaction for methylester production from chicken fat. Fuel 2010, 89, 4035–4039. [Google Scholar] [CrossRef]
7. Alptekin, E.; Canakci, M. Optimization of transesterification for methyl ester production from chicken fat. Fuel 2011, 90, 2630–2638. [Google Scholar] [CrossRef]
8. Gerpen, J. & Shanks, Brent & Pruszko, R. & Clements, D. & Knothe, Gerhard. (2004). Biodiesel Production Technology: August 2002/January 2004. National Renewable Energy Laboratory NREL/SR-510-36244. 10.2172/15008801. <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36244.pdf>
9. Розвиток та застосування різних видів біоенергетики: [Монографія] / Талавиря М.П., Барановська О.Д., Добрівська М.В. та ін. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2012. – 180 с. ISBN 978-617-640-060-8.
10. Глибинна переробка жирів у біопродукти [Текст] : Монографія / М. М. Муштрук, Ю. Г. Сухенко, Ю. І. Бойко ; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. - Київ : Компринт, 2017. - 463 с. : рис., табл.- Бібліогр.: с. 267-306. - 300 прим. - ISBN 978-966-929-484-5
11. Bello, Usman & Agu, Chinedu & Ajiya, Dahiru & Mahmoud, Auwal & Udofia, Livingstone & Lawal, Nuruddeen & Abdullahi, Aisha & Bello, Citation & Agu, C & Ajiya, D & Mahmoud, A & Udopia, L & Lawal, N & Abdullahi, A & Biodiesel, M. (2022). Review Article: Biodiesel, in a quest for sustainable renewable energy: A review on its potentials and production strategies in a quest for sustainable renewable energy: A review on its potentials and production strategies. <https://doi.org/10.22034/JCR.2022.343497.1175>.
12. Jagdale, S.S.; Jugulkar, L.M. Production and analysis of chemical properties of chicken fat based biodiesel and its various blends. Int. J. Eng. Res. Dev. 2012, 1, 34–37. [Google Scholar]
13. Marulanda, V.F.; Anitescu, G.; Tavlarides, L.L. Investigations on supercritical transesterification of chicken fat for biodiesel production from low cost lipid feedstocks. J. Supercrit. Fluids 2010, 54, 53–60. [Google Scholar] [CrossRef]
14. Canakci, M. and Van Gerpen, J. (1999) Biodiesel Production via Acid Catalysis. Transactions of the ASAE, 42, 1203–1210. American Society of Agricultural Engineers 0001-2351/99/4205-1203.

14. *Gheorghe Hubca*. 2008: Biocombustibili: biodiesel, sun diesel / Gheorghe Hubca, Angela Lupu, Corneliu Anton Cociasu. București, Vatrix Ro. – 497. Видавець: București : Matrix Rom, 2008 Опис: 497 с. : рис., табл. ; 24 см . ISBN: 9789737553812.

15. *Kawahara D.K.* 1979: Process for Producing Lower Alcohol Esters of Fatty Acids / D.K. Kawahara, T.O. Yoshihara // U.S. Patent 4,164,506 <https://patents.google.com/patent/US4164506A>.

16. Пат. № 88276 Україна, МПК C11C3/04. Спосіб отримання метилових ефірів з технічних тваринних жирів/ Муштрук М. М., Сухенко Ю. Г., Сухенко В. Ю.,; заявник і патентовласник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – u201311117; заявл. 18.09.2013; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5.

PROCESSING OF ANIMAL FATS INTO BIOFUEL: TECHNOLOGIES AND PERSPECTIVES

Sukhenko V. Yu.¹, Avdieieva L. Yu.², Mushtruk M. M.³

¹Dr. Sci. (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-8325-3331, e-mail: vladsukhenko@gmail.com

²Dr. Sci. (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-3434-1669, e-mail: avdeeva22@ukr.net

³PhD (Engin.), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, , Kyiv, 03041, Ukraine, orcid.org/0000-0002-3646-1226, e-mail: mixej.1984@ukr.net

<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2023.10>

This work describes one of the promising and innovative concepts for the use of biofuel from animal fats. Diesel biofuel made from cheap raw materials can compete with traditional fuels of petroleum origin, especially in terms of non-toxicity and environmental cleanliness.

Raw materials for the production of methyl and ethyl esters of fatty acids can be vegetable oils, animal and bird fat, lard, yellow fat and by-products of fish farming. The main component of oils and fats are triglycerides, which make up about 90-98% of the total mass of raw materials.

In real production conditions, periodic emissions of fatty waste are not excluded, which leads to the loss of fat-retaining raw materials, which worsens the environmental situation. Therefore, the task of the poultry processing industry is to obtain food products from high-quality raw materials, as well as third-party products in order to reduce production waste.

The purpose of the work is to analyze the process of processing fat-containing waste of poultry processing enterprises into biofuel and to study its potential in providing sustainable and ecologically clean energy.

The research used technical chicken fat (CHF), which was heated to 75-80°C and kept at this temperature for one hour with constant stirring to remove moisture, and then filtered to separate insoluble impurities.

The level of free fatty acids (FFA) in the raw material must be reduced to 1% before using an alkaline catalyst for

fat transesterification. Therefore, the first step in the research was preliminary preparation of the KTZ. The fat used had an acid value (AC) of 5-45 mg KOH/g. Since the KC fat was more than 2 mg KOH/g, it was necessary to carry out esterification of this raw material.

So, according to the conclusions of the research analysis, we can say that sulfuric acid is one of the most effective catalysts for reducing the level of high cholesterol during the esterification of chicken fat. The decrease in the level of UVC during the esterification of chicken fat depends significantly on the molar ratio of methanol/fat, the amount and type of acid catalyst, as well as the duration of the reaction. The initial level of VHD in chicken fat (15–27%) can be reduced to 1% using 20% H₂SO₄ by weight of fat and methanol at a molar ratio of 40:1 to fat in a reaction at 60 °C for 80 min.

References 14, table 1, figures 2.

Key words: animal fats, poultry farming, diesel biofuel, transesterification, technologies, ecology.

1. Heletukha H.H., Zhelyezna T.A., Drahnyev S.V. Analiz perspektiv ta pytan' stalosti vyrobnytstva ridkykh motornykh biopalyv v YES ta v Ukrayini // *Teplofizyka ta teploenerhetyka*, – 2023, t. 45, № 1, s. 46-54.. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.6>

2. Zappi M., Hernandez R., Sparks D., Horne J., Brough M., Arora S.M., Motsenbocker W. D. A review of the engineering aspects of the biodiesel industry//Mississippi Biomass Council. – Jackson MS, 2003. https://www.researchgate.net/publication/228371677_A_review_of_the_engineering_aspects_of_the_biodiesel_industry

3. M.W. Vis, D. van den Berg. Biomass Energy Europe Harmonization of biomass resource assessments. Volume I. Best Practices and Methods Handbook.- November 2010. - 220 p. <https://doi.org/10.13140/2.1.4643.8084>

4. Zalouk, S.; Barbati, S.; Sergeant, M.; Ambrosio, M. Disposal of animal by-products by wet air oxidation: Performance optimization and kinetics. *Chemosphere* 2009, 74, 193–199. [Google Scholar] [CrossRef]

5. Rosson, E.; Sgarbossa, P.; Pedrielli, F.; Mozzon, M.; Bertani, R. Bioliquids from raw waste animal fats: An alternative renewable energy source. *Biomass Convers. Biorefinery* 2020, 1–16. [Google Scholar] [CrossRef]

6. Alptekin, E.; Canakci, M. Optimization of pretreatment reaction for methylester production from chicken fat. *Fuel* 2010, 89, 4035–4039. [Google Scholar] [CrossRef]

7. Alptekin, E.; Canakci, M. Optimization of transesterification for methyl ester production from chicken fat. *Fuel* 2011, 90, 2630–2638. [Google Scholar] [CrossRef]

8. Gerpen, J. & Shanks, Brent & Prusko, R. & Clements, D. & Knothe, Gerhard. (2004). Biodiesel Production Technology: August 2002/January 2004. National Renewable Energy Laboratory NREL/SR-510-36244. 10.2172/15008801. <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36244.pdf>
9. Rozvytok ta zastosuvannya riznykh vydiv bioenerhetyky: [Monohrafiya] / Talavyrya M.P., Baranovs'ka O.D., Dobrivs'ka M.V. ta in. – Nizhyn: Vydavets' PP Lysenko M.M., 2012. – 180 s. (Ukr.) ISBN 978-617-640-060-8.
10. Hlybynna pererobka zhyriv u bioprodukty [Tekst]: monohrafiya / M. M. Mushtruk, YU. H. Sukhenko, YU. I. Boyko ; Nats. un-t bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. - Kyiv : Kompynt, 2017. - 463 s. : rys., tabl. - Bibliohr.: s. 267-306. (Ukr.) ISBN 978-966-929-484-5
11. Bello, Usman & Agu, Chinedu & Ajiya, Dahiru & Mahmoud, Auwal & Udofia, Livingstone & Lawal, Nuruddeen & Abdullahi, Aisha & Bello, Citation & Agu, C & Ajiya, D & Mahmoud, A & Udopia, L & Lawal, N & Abdullahi, A & Biodiesel, M. (2022). Review Article: Biodiesel, in a quest for sustainable renewable energy: A review on its potentials and production strategies in a quest for sustainable renewable energy: A review on its potentials and production strategies. <https://doi.org/10.22034/JCR.2022.343497.1175>.
12. Jagdale, S.S.; Jugulkar, L.M. Production and analysis of chemical properties of chicken fat based biodiesel and its various blends. Int. J. Eng. Res. Dev. 2012, 1, 34–37. [Google Scholar]
- Marulanda, V.F.; Anitescu, G.; Tavlarides, L.L. Investigations on supercritical transestrification of chicken fat for biodiesel production from low cost lipid feedstocks. J. Supercrit. Fluids 2010, 54, 53–60. [Google Scholar] [CrossRef]
13. Canakci, M. and Van Gerpen, J. (1999) Biodiesel Production via Acid Catalysis. Transactions of the ASAE, 42, 1203-1210. American Society of Agricultural Engineers 0001-2351/99/4205-1203.
14. Gheorghe Hubca. 2008: Biocombustibili: biodiesel, sun diesel / Gheorghe Hubca, Angela Lupu, Corneliu Anton Sociașu. București, Vatrix Ro. – 497. Видавець: București : Matrix Rom, 2008 Опис: 497 с. : рис., табл. ; 24 см . ISBN: 9789737553812.
15. Kawahara D.K. 1979: Process for Producing Lower Alcohol Esters of Fatty Acids / D.K. Kawahara, T.O. Yoshihara // U.S. Patent 4,164,506 <https://patents.google.com/patent/US4164506A>.
16. Pat. № 88276 Ukrayina, MPK C11C3/04. Sposib otrymannya metylovykh efiriv z tekhnichnykh tvarynnykh zhyriv/ Mushtruk M. M., Sukhenko YU. H., Sukhenko V. YU.; zayavnyk i patentovlasnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. – u201311117; zayavl. 18.09.2013; opubl. 11.03.2014, Byul. № 5. <https://base.uipv.org/search/INV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=197962>

Отримано 31.08.2023

Received 31.08.2023

Прийнято до друку 23.11.2023

Accepted for publication 23.11.2023