



Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.
Серія: Харчові технології

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.
Series: Food Technologies

ISSN 2519–268X print
ISSN 2707-5885 online

doi: 10.32718/nvlvet-f10013
<https://nvlvet.com.ua/index.php/food>

UDC 338.4:620.9

The use of liquid fatty waste from restaurants as an alternative raw material for the food industry, biomedical and pharmaceutical applications, and the production of biofuel

I. Romashko¹✉, S. Maikova², O. Vivcharuk², V. Ivasiv³

¹Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Ukraine

²Ivan Franko National University Lviv, Ukraine

³Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Article info

Received 14.08.2023

Received in revised form
14.09.2023

Accepted 15.09.2023

Romashko, I., Maikova, S., Vivcharuk, O., & Ivasiv, V. (2023). The use of liquid fatty waste from restaurants as an alternative raw material for the food industry, biomedical and pharmaceutical applications, and the production of biofuel. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies, 25(100), 80–87. doi: 10.32718/nvlvet-f10013

Stepan Gzhytskyi National
University of Veterinary Medicine
and Biotechnologies Lviv,
Pekarska str., 50, Lviv, Ukraine.
Tel.: +38-050-579-04-99
E-mail: mysh@ukr.net

Ivan Franko National
University of Lviv,
Kyryla i Mehofodiya Str., 6,
Lviv, 79005, Ukraine.

Lviv Polytechnic National
University, St. Bandery Str., 12,
Lviv, 79000, Ukraine.

There is an active search for alternative types of raw materials for the needs of the national economy. Fossil fuel reserves are noticeably depleted, the ecological condition of the environment is deteriorating, and at the same time, the amount of industrial waste that needs to be disposed of is increasing. The number of polymers for production based on natural raw materials and the need for them for the food industry, biomedical and pharmaceutical applications is constantly growing. About 250,000 liters of used vegetable oil and other fats are generated every week in catering establishments of Ukraine. The largest share belongs to spent frying fats. A significant volume of promising raw materials ends up in the sewage system. The resources of the treatment plants are excessively depleted. Also, emissions of spent fatty raw materials cause enormous damage to the environment. A study was conducted on: the dynamics of changes in quality indicators of sunflower oil during prolonged heating; evaluation of the quality indicators of the samples of the studied spent fats; dynamics of changes in cooking fat quality indicators during prolonged heating; the dynamics of changes in the quality indicators of frying fat during prolonged heating; the physico-chemical indicators of the quality of samples of experimental used fats were investigated. The possibility of using spent frying fats for the production of targeted products, which is a promising resource for the synthesis and production of polymer materials and secondary raw materials in the processes of the technical sphere and the production of biofuel, was investigated. The use of spent liquid fats as a raw material for the production of diesel fuel is appropriate, however, among the tested samples, heated sunflower oil is the least suitable. Spent deep-frying and cooking fats showed a fairly high resistance to long-term heating and after contact with a hot surface are characterized by acceptable values of thermo-oxidative stability, namely 46.5 and 44.1 %, respectively.

Key words: fat waste, frying fats, alternative raw materials, food industry, biofuel.

Використання рідких жирових відходів закладів ресторанного господарства як альтернативної сировини для харчової промисловості, біомедичних і фармацевтичних застосувань та виготовлення біопалива

I. Ромашко¹✉, С. Майкова², О. Вівчарук², В. Івасів³

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

²Львівський національний університет імені І. Франка, м. Львів, Україна

³Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна

Відбувається активний пошук альтернативних видів сировини для потреб народного господарства. Запаси викопного палива помітно виснажуються, погіршується екологічний стан навколишнього середовища і одночасно зростає кількість промислових відходів, що потребують утилізації. Харчова промисловість, біомедицина та фармацевтична сфера формують постійно зростаючий попит на полімерну продукцію, виготовлену на основі природної сировини. Щотижня у закладах харчування України утворюється близько 250 тисяч літрів відпрацьованої рослинної олії та інших жирів, найбільша частка в яких належить відпрацьованим фритюрним жирам. Значний обсяг перспективної сировини потрапляє в каналізацію, надмірно виснажуючи ресурси очисних споруд підприємств. Також, викиди відпрацьованої жирової сировини наносять колосальний збиток навколишньому середовищу. Досліджено динаміку змін показників якості соняшникової олії при тривалому нагріванні; проведено оцінку показників якості зразків досліджуваних відпрацьованих жирів; вивчено динаміку зміни показників якості кулінарного жиру при тривалому нагріванні; проаналізовано динаміку зміни показників якості фритюрного жиру при тривалому нагріванні; досліджено фізико-хімічні показники якості зразків досліджуваних відпрацьованих жирів. Досліджено можливість використання відпрацьованих фритюрних жирів на виробництво цільових продуктів, які є перспективним ресурсом для синтезу та виробництва полімерних матеріалів і вторинної сировини у процесах технічної сфери та виготовлення біопалива. Використання відпрацьованих рідких жирів як сировини для виробництва дизельного пального є доцільним, однак серед досліджених зразків найменш придатною є грита соняшникова олія. Відпрацьовані фритюрний і кулінарний жири виявили досить високу стійкість до тривалого нагрівання і після контакту з гарячою поверхнею характеризуються допустимими значеннями термоокиснювальної стабільності, а саме 46,5 і 44,1 %, відповідно.

Ключові слова: жирові відходи, фритюрні жири, альтернативна сировина, харчова промисловість, біопаливо.

Вступ

Через виснаження запасів викопного палива та погіршення екологічного стану навколишнього середовища триває активний пошук альтернативних видів сировини для потреб народного господарства. Поновлювана сировина, така як целюлоза, лігнін, рослинні олії, крохмалі, моно- та дисахариди, стають все привабливішою сировиною-замінником. Разом з тим, неухильно зростає частка полімерів на основі природної сировини для харчової промисловості, біомедицини і фармацевтичних застосувань. Крім того, за приблизними оцінками роботи заводів громадського харчування України, щотижня утворюється близько 250 тисяч літрів відпрацьованої рослинної олії та інших жирів. Серед них найбільша частка належить відпрацьованим фритюрним жирам. Значний обсяг перспективної сировини потрапляє в каналізацію і далі по колу в системи водопостачання та обробки води. В результаті чого йде надмірне навантаження на ресурси очисних підприємств, які обслуговують дану область, і, звичайно ж, це колосальний збиток навколишньому середовищу.

При правильному управлінні і підході до питання відпрацьованих фритюрних жирів, можна звести до мінімуму забруднення навколишнього середовища і власне витрати на виробництво цільових продуктів, що є перспективним ресурсом для синтезу та виробництва полімерних матеріалів та вторинною сировиною у процесах технічної сфери (Proshchalykina & Denysenko, 2020).

Актуальність теми. В Європейських країнах і США вже є нормою здавати виробничі та фритюрні жири на вторинну переробку і виготовлення біодизелю. Це не тільки додаткова стаття доходів та імідж підприємств, а й внесок у захист екосистеми, в якій ми живемо, тому проблема утилізації жирових відходів є актуальним питанням сучасних наукових досліджень (Sukhenko et al., 2016).

Основною цільовою сферою використання жирів є харчова промисловість. Однак, деяка частка жирів при добуванні, переробці, транспортуванні, зберіганні та під час інших етапів їх "експлуатації" може втрачати свої харчові якості і ставати непридатними для використання за первинним призначенням. Жири – це

високомолекулярні органічні сполуки, які складаються з тригліцеролів жирних кислот, що є складними ефірами гліцеролу і вищих одноосновних жирних кислот з кількістю атомів вуглецю в ланцюгу найчастіше від 6 до 24. В утворенні жирів беруть участь як насичені, так і ненасичені кислоти (Krusir et al., 2014). Близько 90 % хімічних реакцій тригліцеридів рослинних олій відбуваються через естерну групу, решта через перетворення алільних фрагментів (Udovenko et al., 2021). На сьогодні, за допомогою різних методів можна одержати окисполімеризовані олії, поліестери, поліуретани, поліаміди, полівінілхлориди, акрилати та епоксидні смоли на основі тригліцеридів олій. Усі ці компоненти можна використовувати для створення термостійких пластмас, органічного скла, а також біопалива. Крім того, довілля потребує корисної утилізації жирних відходів, де важливим моментом є підбір правильного механізму переробки жирів. Адже, ефективно утилізуючи промислові відходи, ми не лише зберігаємо довкілля, але і можемо отримувати корисний вихідний продукт (Buntov, 2014).

Жири відносять до речовин четвертого класу небезпеки, оскільки вони не становлять загрози для людини, але від них необхідно позбуватися відповідним чином. Кожен процес утилізації має свої особливості, які залежать від характеристик обладнання, що застосовується, і якісного складу розщеплюваного продукту. З проблемою глибокої переробки жирів стикаються різні заклади, які випускають продукцію або займаються приготуванням продуктів харчування, косметики, мастильних матеріалів тощо.

Одним із популярних сьогодні способів приготування у ресторанних закладах є використання теплової обробки виробів з м'яса, риби, овочів, тіста – фритюрне смаження. З його допомогою одержують смачну, калорійну продукцію з привабливим зовнішнім виглядом, яка має великий попит у споживачів. Під час процесу нагрівання у фритюрі жири зазнають досить жорсткого впливу: вони нагріваються за високих температур (160–190 °C) протягом декількох годин, іноді – днів; до поверхні гарячого жиру, як правило, має вільний доступ повітря; через шар жиру постійно проходить волога, що виділяється продуктом, при цьому жир піниться, що збільшує поверхню контакту його з повітрям; у жир потрапляють частин-

ки продукту, який обсмажується, і, якщо немає постійної фільтрації жиру або “холодної” зони в апараті, компоненти жиру обуглюються і забруднюють його продуктами пірогенетичного розпаду органічних речовин. Такі умови нагрівання викликають глибокі зміни в жирах (Pryshliak, 2019).

Однак, у ресторанному сервісі, частою супутньою проблемою утилізаційних заходів стає забита стічна система, а наслідком – витрати на її очищення та можливі штрафи з боку контролюючих органів. У законодавстві нашої країни відсутні регламентуючі документи, які забороняють утилізувати фритюр через каналізаційну мережу. Але зливати його в каналізацію не можна, тому що при багаторазових циклах смаження в олії накопичуються шкідливі компоненти, що роблять суміш густою і тягучою. Крім того, це може викликати неприємний запах і появу паразитів. Коли відпрацьований жир потрапляє в каналізаційні труби, кожного разу виникають проблеми для всієї інфраструктури водопостачання відповідної території і додаткові навантаження на водоочисні споруди. Це може навіть призвести до перебоїв в роботі водопостачання, а це створює додаткові неконтрольовані ризики для здоров'я людей. Щодо проблем забруднення навколишнього середовища, то некондиційні жири, які скидаються в довкілля, передусім концентруються і накопичуються в каналізаційних системах, що призводить до переповнення останніх. В цьому випадку відходи потрапляють в озера, річки і моря, завдаючи серйозної шкоди екосистемі. Грамотна утилізація сприяє захисту навколишнього середовища.

Заклади ресторанного господарства можуть вільно скористатися послугами переробних підприємств, отримуючи при цьому дві переваги – позбавлення від небажаних відходів і грошову компенсацію. Вивіз фритюру мінімізує ризик засмічення каналізаційних труб та суттєво зменшує витрати на їх очистку. Планова заміна відпрацьованого жиру дозволяє повністю дотримуватися санітарних норм і повноцінно працювати. При цьому утилізована фритюрна олія використовується в якості сировини при виробництві біодизельного палива, мастильних матеріалів, промислових лаків, фарб, оліф, господарського мила та інших продуктів хімічної промисловості.

Мета дослідження

Мета роботи полягала у дослідженні показників зразків відпрацьованих рідких жирів та оцінка доцільності використання їх як сировини для отримання дизельного палива. Завданням було проаналізувати доцільність використання рідких жирових відходів як альтернативної сировини для виробництва продукції харчової, біомедицинової і фармацевтичної промисловості, а також дизельного пального, дослідивши органолептичні і фізико-хімічні показники якості запропонованої сировини.

Матеріал і методи досліджень

У закладах ресторанного господарства скоротити відходи жирів можна заміною процесів смаження іншими технологічними операціями, зокрема, застосуванням технологій запікання, пароконвекції, су-від та ін. Запечені, тушковані чи пропарені продукти є більш природною і здоровою їжею, до того ж супроводжуються утворенням меншої кількості відходів олій та жирів. Сучасною світовою тенденцією в області харчових технологій є залучення безвідходних схем роботи. Однією з ланок такого підходу стають раціональні методи використання сировини і побічних продуктів (Furman & Tokarchuk, 2018). Сфера швидкого харчування пов'язана зі значними обсягами переробки різноманітних жирових компонентів, зокрема жирів для смаження. Утилізація відпрацьованої фритюрної олії передбачає співпрацю з ліцензованими компаніями, що спеціалізуються на такому виді діяльності. Виробники фаст-фуду укладають договори з підприємствами, які постачають спеціальне устаткування для збору відпрацьованих жирів. Необхідні міцні металеві контейнери, виготовлені з матеріалів, що підходять для харчових відходів, які не взаємодіють з рідким вмістом. Після заповнення ємностей вони вивозяться на переробку. Завдяки такій співпраці виключені простой в роботі закладів харчування і гарантується своєчасна заміна рослинної олії та інших допоміжних жирів, що використовуються для приготування різних страв. Підтримуючи боротьбу за екологічність нашої планети, науково-дослідні установи проводять різноманітні дослідження і пропонують різні методи вторинної переробки некондиційних рослинних жирів та відпрацьованих олій (Sukhenko et al., 2015). Одним з таких способів утилізації олійно-жирових відходів є отримання технічних мастил та біопалива на їх основі.

Рослинні олії є природними сумішами ацилгліцеролів – складних ефірів гліцеролу і жирних органічних кислот. Для отримання рослинних жирів, зокрема фритюрних, використовуються десятки видів олійних культур (Kaletnik, 2015). Найбільш поширені з них та середня кількість олії, вилученої з сировини, подано в таблиці 1. В Європі для виробництва біологічного палива найбільш часто використовують ріпак. У відповідності з європейським стандартом EN 14214-2003 це паливо отримало назву – метилові ефіри жирних кислот (Fatty Acid Methyl Esters, FAME).

Сьогодні у всьому світі важливим стає пошук альтернативних видів пального, які б заміщали, а з часом і витіснили нафтові продукти з ринку джерел енергії для транспорту і механізмів різного типу та сфер застосування. В цьому сегменті зростає інтерес до практичного використання продуктів рослинного походження, зокрема відходів харчової промисловості. Вони нетоксичні, володіють високим ступенем біорозкладу, а сировина для виробництва альтернативної сировини та біопалива є відновлюваною.

Таблиця 1

Рослинні олії та їх середній вихід з гектара зібраної сировини.

Назва культури	Середня кількість отриманої олії, кг/га
Соя	374
Лісовий горіх	405
Насіння гарбуза	449
Коріандр	450
Гірчиця	481
Шафран	653
Масляне дерево	790
Соняшник	801
Арахіс	887
Мак	978
Ріпак	999
Оливки	1019
Рицина	1188
Авокадо	2217
Насіння гарбуза	2260
Пальма	5000

При використанні та виробництві палив на синтетичній і нафтовій основі можливе утворення небажаних сполук, які є токсичними, а відповідно становлять загрозу, забруднюючи біосферу. Ці речовини майже не беруть участі в обмінних процесах живих організмів, внаслідок чого здатні накопичуватись в них. Практично та науково обґрунтовано можливість отримання в умовах вторинного виробництва екологічно чистого біодизелю на основі відходів використання рослинних жирів.

Технічною перешкодою активного впровадження біопалива на основі рослинних жирів є необхідність переоснащення техніки, що працює на дизельному пальному, на відповідний тип палива через відмінність деяких фізико-механічних властивостей. Біодизельне пальне за фізико-механічними властивостями найбільш близьке до дизельного пального. Важливими є в'язкісні характеристики, що впливають на стан системи дизельного двигуна та температурний діапазон його використання. Біопаливо характеризується вищою кінематичною в'язкістю, порівняно з дизелем. Від цього залежить робота системи подачі палива: як при великому, так і при низькому значенні кінематичної в'язкості, порушуються процеси сумішоутворення та згоряння. При низьких значеннях в'язкості пальне просочується через зазори насоса високого тиску, що призводить до інтенсивного зношування плунжерних пар через зменшення циклової подачі і зниження тиску впорскування. Як наслідок, пальне підтікатиме через розпилювачі форсунок і погіршить режим їх змащування.

При високих значеннях в'язкості пального ускладнюється його подача трубопроводами, погіршується процес сумішоутворення, відбувається швидке утворення нагару на деталях двигуна внаслідок неповного згоряння пального. Враховуючи фізико-хімічні показ-

ники біодизелю на основі рослинних жирів, необхідно включати систему додаткового нагріву палива для збільшення діапазону температур його використання, покращуючи умови утворення газоповітряної суміші.

Важливим чинником, що викликає підвищений інтерес до біодизельного палива, є його екологічність, тобто менші викиди шкідливих сполук у навколишнє середовище. У продуктах згоряння біопалива міститься на 8–10 % менше окису вуглецю, майже на 50 % менше сажі й значно менше сірки (0,005 % проти 0,2 % у звичайного дизельного палива). І тільки через високий вміст кисню у біопаливі продукти його згоряння містять приблизно на 10 % більше окису азоту порівняно з нафтовим дизельним паливом. Біодизельне паливо відзначається високим цетановим числом, що дає можливість використовувати його на дизельних двигунах без додаткових речовин, які б забезпечували краще запалювання, особливо під час запуску двигуна. У разі попадання в ґрунт або воду біодизельне паливо впродовж 25–30 днів практично повністю розкладається і не завдає екологічної шкоди, тоді як один кілограм мінеральних нафтопродуктів може забруднити майже мільйон літрів питної води, знищуючи в ній всю флору й фауну.

Відомо, що рослинні жири, залежно від вихідної сировини, відрізняються хімічним складом, а саме вмістом насичених і ненасичених кислот. Це впливає на їх стабільність до термічного впливу. Одночасно жири характеризуються високими мастильними властивостями, а деякі з них, наприклад, ріпакова олія, має високий індекс в'язкості. Крім того суттєвим позитивом є те, що рослинні жири швидко утилізуються, оскільки здатні до біорозкладу і нетоксичні. Однак, вони мають вагомий недолік – низька стійкість до окиснення при підвищенні температури. Здебільшого погані низькотемпературні характеристики залежать від хімічного складу вихідного жиру. Виправити ці недоліки можна внесенням цільових добавок (присадок) або модифікацією хімічного складу біосировини. Науково-технічне обґрунтування можливості залучення відпрацьованих рідких жирів як сировини для виробництва біодизелю необхідно пов'язувати з чинниками, які б покращували його термоокислювану стабільність.

Для досліджень відібрано зразки трьох відпрацьованих жирів, а саме соняшникової олії для смаження (СО), кулінарного жиру українського (КЖ) і фритюрного жиру (ФЖ – суміш свинячого жиру і рослинної олії у співвідношенні 1:1). Після тривалого нагрівання проведено оцінку їх показників якості згідно з оціночною шкалою, поданою в таблиці 2.

Під час вивчення термостійкості жирів, разом з виробничими дослідженнями, широко застосовують різні методи контрольного нагріву їх в лабораторних умовах – жир нагрівають без обсмажування будь-яких продуктів.

Таблиця 2

Оціночна шкала олії, що використовується для фритюрного смаження.

К-ть балів	Показники якості		
	Колір в світлі, що проходить і відбивається, на білому фоні	Смак при 40 °С	Запах (за температури не нижче 50 °С)
		Коефіцієнт важливості	
	3	2	1
1	Коричневий або темно-коричневий	Дуже гіркий, що визиває неприємне відчуття першіння	Різкий, неприємний як для продуктів термічного розпаду олії
2	Світло-коричневий	Гіркий, з яскраво вираженим стороннім присмаком	Виражений неприємний, як у продуктів термічного розпаду олії
3	Інтенсивно-жовтий з коричневим відтінком	Слабо виражений, гіркуватий	Слабо виражений неприємний, як у продуктів термічного розпаду олії
4	Інтенсивно-жовтий	Хороший, але зі стороннім присмаком	Без стороннього запаху
5	Солом'яно-жовтий	Без стороннього присмаку	Без стороннього запаху

При цьому режим обробки встановлюють таким, щоб в максимальному ступені імітувати умови смаження продуктів:

- температура нагріву відповідає температурі фритюрного смаження (звичайно – 170...180 °С);
- тривалість нагрівання імітує тривалість робочої зміни;
- посуд вибирають такий, що виготовлений з матеріалу, який використовується в ваннах обсмажуючих апаратів;
- питому поверхню зіткнення жиру з повітрям створюють відповідною до такої ж у фритюрницях:

- у ряді досліджень через розігрітий жир барботують водяну пару в кількостях, що відповідають виділенню пари з продукту, який обсмажується.

Результати та їх обговорення

В ході роботи соняшникову рафіновану олію нагрівали в посудині з неіржавіючої сталі за температурі 180 °С протягом 30 годин (5 днів по 6 годин). Результати оцінки органолептичних показників якості грітих олій зведено в таблицю 3.

Таблиця 3

Результати оцінки показників якості зразків досліджуваних відпрацьованих жирів

Показники якості	Кількість балів		
	СО	КЖ	ФЖ
Колір в світлі, що проходить і відбивається, на білому фоні	3	4	5
Смак при 40 °С	4	4	3
Запах (за температури не нижче 50 °С)	4	3	4
Сумарна оцінка	11	11	12

Не дивлячись на те, що органолептичні показники грітої олії після 6 годин нагріву (олія солом'яно-жовтого кольору, без стороннього запаху, з неясно вираженим стороннім присмаком) знаходяться в необхідних межах, олію можна вважати практично зіпсованою, оскільки відсоток окиснених жирних кислот в ньому досягає 0,89 при допустимому 1 %. Олія накопичує 1 % окиснених жирних кислот приблизно

через 7 годин контрольного нагріву і стає непридатною для використання її в харчових цілях.

Вплив контрольного високотемпературного нагріву на фізико-хімічні показники соняшникової олії оцінювали за зміною кислотного, йодного, пероксидного чисел, а також за зміною в'язкості олії. Чисельні величини досліджуваних показників зведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Динаміка зміни показників якості соняшникової олії при тривалому нагріванні

Тривалість нагрівання, год	Кислотне число, мг КОН/г	Йодне число, % йоду	Пероксидне число, ммоль О ₂ /кг	В'язкість, Па с 10 ³ (при 40°С)
0	0,42	137	4,2	24,7
6	0,57	129	6,3	33,2
12	0,69	121	8,9	38,1
18	0,74	113	9,7	42,4
24	0,80	108	10,1	46,2
30	0,83	105	10,6	51,3

Зміна пероксидного числа має дещо хвилеподібний характер, що підтверджує здатність пероксидів

легко розпадатися незабаром після утворення, особливо під час високотемпературного впливу. Тому

періоди накопичення пероксидів в олії чергуються з періодами активнішого розпаду і тоді їх вміст зменшується. Проте за 30 год нагріву вміст пероксидів в досліджуваній олії зріс майже в два рази. Даний зразок використовували як контроль при оцінці можливості застосування жиру як фритюру.

Про накопичення полімерів в процесі високотемпературного нагрівання досліджуваної олії свідчить збільшення її в'язкості. За 30 годин контрольного нагріву в'язкість олії зросла в 2,2 рази. На момент досягнення жиром гранично допустимого вмісту окиснених жирних кислот (1 %) в'язкість його становила $35,6 \times 10^{-3}$ Па·с. Це нижче гранично допустимого значення в'язкості грітих жирів ($45,0 \times 10^{-3}$ Па·с). Вказаного гранично допустимого значення в'язкості гріта олія досягла через 18 годин контрольного нагріву.

Таблиця 5

Динаміка зміни показників якості кулінарного жиру при тривалому нагріванні

Тривалість нагрівання, год	Кислотне число, мг КОН/г	Йодне число, % йоду	Пероксидне число, ммоль О ₂ /кг	В'язкість, Па с 10 ³ (при 40 °С)
0	0,35	124	3,9	29,6
6	0,46	109	5,9	35,1
12	0,53	102	6,8	39,4
18	0,62	98	8,1	44,6
24	0,69	91	9,3	48,7
30	0,74	88	10,3	53,6

Як видно з представлених результатів, при тривалому нагріванні (впродовж 30 годин, 5 днів по 6 годин) найкращі значення показників якості отримано для фритюрного жиру. Для даного зразка спостерігається найнижче значення кислотного і пероксидного

вання. Хоч за арбітражним показником (відсотком окиснених жирних кислот), олія стала непридатною вже через 7 годин нагрівання. Тому в'язкість не може використовуватися як показник, що визначає якість грітих жирів.

Для рослинних олій використовують також рефрактометричний метод визначення продуктів термічного окиснення фритюру. Критерієм оцінки якості фритюру є різниця між показниками заломлення олії, що використана для смаження продукту, і свіжої олії. Якщо різниця показників заломлення більша за 0,001, це свідчить про накопичення більше 1,0 % вторинних продуктів окиснення.

Аналогічні дослідження було проведено для кулінарного і фритюрного жирів. Результати експериментів представлено в таблицях 5 і 6, відповідно.

чисел, а також в'язкість фритюрного жиру зростає найменше. І це має логічне пояснення, адже фритюрні жири призначені для тривалого нагрівання з мінімальними змінами характеристик під впливом високих температур протягом довгого часу.

Таблиця 6

Динаміка зміни показників якості фритюрного жиру при тривалому нагріванні

Тривалість нагрівання, год	Кислотне число, мг КОН/г	Йодне число, % йоду	Пероксидне число, ммоль О ₂ /кг	В'язкість, Па с 10 ³ (при 40 °С)
0	0,29	129	2,7	22,1
6	0,38	115	3,4	31,4
12	0,45	108	4,6	36,3
18	0,50	103	5,5	40,6
24	0,58	98	6,4	43,0
30	0,62	91	7,1	47,1

Для встановлення доцільності використання грітих жирів як сировини у виробництві біопалива використовували зразки відпрацьованих жирів, що нагрівалися впродовж 30 годин за температури 180 °С (по 6 годин впродовж 5 днів). Експериментально визначені фізико-хімічні показники якості зразків дослідних відпрацьованих жирів зведено в таблиці 7.

Як видно з даних таблиці 7, дослідні зразки відпрацьованих жирів за всіма показниками відповідають вимогам стандартів щодо рослинних жирів технічного призначення. Тому їх можна використати для пода-

льших досліджень на предмет вивчення їх як сировини для виробництва біопалива.

Досліджуючи термостабільність зразків відпрацьованих жирів до окиснення, вивчали динаміку лакоутворення в зразках при підвищенні температури контакту з нагрітою поверхнею. Для оцінки термоокиснювальної стабільності використовують випарні пластини, що нагріваються до високої температури, моделюючи процес, що відбувається в дизельних двигунах внутрішнього згорання.

Таблиця 7

Фізико-хімічні показники якості зразків дослідних відпрацьованих жирів

Показник	Відпрацьований жир		
	СО	КЖ	ФЖ
Масова частка нежирових домішок, %	0,14	0,36	0,29
Масова частка вологи і легких речовин, %	0,05	0,07	0,03
Масова частка золи, %	0,08	0,12	0,10
Кислотне число, мг КОН/г	0,83	0,74	0,62
Йодне число, г I ₂ / 100 г, не менше	105	88	91
Пероксидне число, активного кисню / кг, не більше	10,6	10,3	7,1
Температура спалаху, °С, не більше	227	242	248

Олія, яка знаходиться на металічній поверхні у вигляді тонкого шару, нагрівається, при цьому за рахунок випаровування легких речовин зменшується її маса. При подальшому нагріванні на поверхні пластини утворюється лак, який відділяють від робочої фракції шляхом екстрагування. Метод визначення термоокиснювальної стабільності служить для умовної оцінки олій, їх схильності до лакоутворення на деталях двигуна в зоні поршневих кілець.

На графіках залежності кількості випаруваної олії від температури (рис. 1) наведено результати експериментів з визначення вмісту робочої фракції в дослі-

дних зразках відпрацьованих жирів і схильності їх до лакоутворення при зміні температури контактування.

Під час нагрівання прискорюються процеси полімеризації, що спричиняє висихання олії з формуванням плівки лаку. Як ілюструють результати досліджень, найвищу швидкість лакоутворення при нагріванні було встановлено для зразка відпрацьованої соняшникової олії. Це також співпадає з найвищим значенням йодного числа даного зразка, порівняно з іншими експериментальними жирами, тобто високим вмістом ненасичених жирних кислот у зразку.

ТОС, % мас.

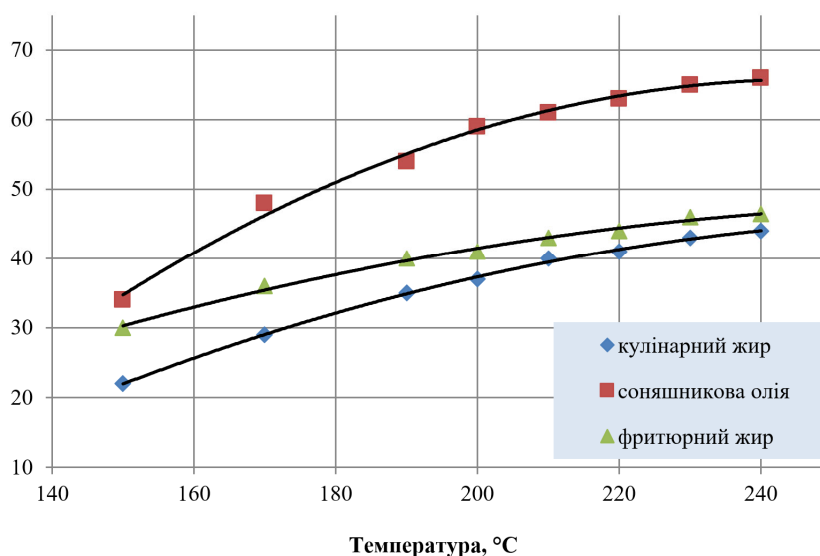


Рис. 1. Термоокиснювальна стабільність дослідних зразків відпрацьованих жирів

Найбільш термостабільним до окиснення виявився відпрацьований кулінарний жир. Але відносна інтенсивність лакоутворення для фритюрного жиру була нижчою, ніж для кулінарного. Необхідно також зазначити, що після однакової тривалості нагрівання до 180°C у досліджуваному фритюрному жирі утворюється менша кількість вторинних продуктів окиснення – пероксидів (табл. 7).

Висновки

Використання відпрацьованих рідких жирів як сировини для виробництва дизельного пального є доцільним, однак серед досліджених зразків найменш

придатною є гріта соняшникова олія. Компоненти, що містяться у її складі, при інтенсивному нагріванні в закритих об'ємах можуть ставати причиною залаковування рухомих поверхонь деталей двигунів та їх передчасному зношуванню. Натомість відпрацьовані фритюрний і кулінарний жири виявили досить високу стійкість до тривалого нагрівання і після контакту з гарячою поверхнею характеризуються допустимими значеннями термоокиснювальної стабільності, а саме 46,5 і 44,1 %, відповідно.

Залучення відпрацьованих рідких жирів у харчовій промисловості для виготовлення термостійкого посуду, біомедичних і фармацевтичних застосувань та виготовлення біопалива, тобто, технічних продуктів є

одним із шляхів покращення екологічності інших галузей промисловості. Використання відходів харчових виробництв у технологіях паливних і мастильних матеріалів, а також використання некондиційних жирів після очищення, дозволить зменшити забрудненість навколишнього середовища, заощадити цінні ресурси для використання у інших галузях народного господарства і отримати компоненти альтернативних палив на основі рослинних олій після відповідної переробки.

Враховуючи результати досліджень зміни показників якості експериментальних зразків відпрацьованих рідких жирів при нагріванні, встановлено, що є доцільним їх застосування як сировини для отримання біопалива. Зокрема, відпрацьовані кулінарні та фритюрні жири можна рекомендувати до вторинної переробки при виробництві біодизелю, що сприятиме раціональному використанню біологічної сировини та утилізації олійно-жирових відходів.

Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

References

- Buntov, I. Yu. (2014). Perspektyvy rozvytku doslidzhen zi stvorennia i vykorystannia biopalyva v Ukraini. *Biznes Inform. Kh.*: VD «INZhEK», 12, 98–116 (in Ukrainian).
- Furman, I. V., & Tokarchuk, D. M. (2018). *Prodovolcha bezpeka ta ekonomichni zasady vyrobnytstva biopalyva. Ekonomichniy analiz: zbirnyk naukovykh prats*, 28(1), 168–174. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/33697/1/13.pdf> (in Ukrainian).
- Kaletnik, H. M. (2015). *Vyrobnytstvo ta vykorystannia biopalyv: pidruchnyk*. V.: Konsol (in Ukrainian).
- Krusir, H. V., Shevchenko, R. I., Rusieva, Ya. P., Kondratenko, I. P., & Krainov, I. P. (2014). *Tehnologiyi povodzhennya z vidhodami harchovih virobnytstv: navch. posib. dlya VNZ*. Odesa: Astroprint (in Ukrainian).
- Proshchalykina, A. M., & Denysenko, V. O. (2020). Problemy ta perspektyvy rozvytku rynku biopalyva v Ukraini. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal "Internauka"*. Serii: "Ekonomichni nauky", 12, 56–60 (in Ukrainian).
- Pryshliak, N. V., Tokarchuk, D. M., Palamarenko, Ya. V. (2019). Zabezpechennia enerhetychnoi ta ekolohichnoi bezpeky derzhavy za rakhunok biopalyva z bioenerhetychnykh kultur i vidkhodiv: monohrafiia. *Vinnytsia: Konsol* (in Ukrainian).
- Sukhenko, Yu. H., Serohin, O. O., Sukhenko, V. Yu., & Riabokon, N. V. (2016). *Resursozberihaiuchi tekhnolohii v kharchovykh i pererobnykh vyrobnytstvakh*. K.: TsP «KOMPRYNT» (in Ukrainian).
- Sukhenko, Yu., Mushtruk, M., & Sukhenko, V. (2015). *Vyrobnytstvo dyzelnogo biopalyva z vykorystanniam ultrazvukovoho peremishuvannia reagentiv. Prodovolcha industriia APK*, 3, 10–13. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Piapk_2015_3_5 (in Ukrainian).
- U Sambirskomu raioni zapratsiuвав завод z vyrobnytstva biodyzelnogo palyva z ripaku [Internet-resurs]. URL: <https://sambirra.gov.ua/sozekonommeny/2012-12-05-11-41-22/11167-11167.html> (in Ukrainian).
- Udoenko, O., Gladkiy, F., Shkredov, I., & Havriushenko, K. (2021). Pokaznyky yakosti modyfikovanykh zhyriv novoho pokolinnia. *Visnyk NTU "KhPI"*, 3(5), 66–72 (in Ukrainian).