

УДК 621.436

DOI DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.2.2/17>**Ілляшенко Ю.В.**<https://orcid.org/0009-0007-6114-2968>

Національний університет «Київський авіаційний інститут»

Єфименко В.В.<https://orcid.org/0000-0002-4903-6173>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ МОТОРНИХ ОЛИВ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ЇХ ЯКОСТІ

У статті розглянуто екологічні аспекти використання рослинних моторних олив з урахуванням зміни їх показників якості у процесі експлуатації. Проаналізовано основні фізико-хімічні властивості рослинних олив, що впливають на їх екологічність. Проведено порівняльний аналіз зміни якості рослинних моторних олив порівняно з мінеральними та синтетичними аналогами з екологічної точки зору. Моторні оливи безпосередньо впливають на екологічний стан довкілля на всіх етапах виробництва, експлуатації та утилізації. Основними екологічно значущими характеристиками моторних олив є походження сировини, біорозкладність, токсичність продуктів деградації, а також ступінь екологічного ризику у разі витоків або неправильного поводження з відпрацьованими матеріалами. Традиційні моторні оливи, виготовлені з нафтопродуктів, характеризуються низькою здатністю до біологічного розкладання та тривалим негативним впливом на ґрунти і водні об'єкти. У процесі експлуатації вони зазнають окиснювальної та термічної деградації, що супроводжується утворенням токсичних сполук, які ускладнюють їх подальшу утилізацію. Рослинні оливи є перспективною альтернативою традиційним нафтовим мастильним матеріалам, ці оливи мають значний потенціал для використання в різних галузях техніки. Вони виробляються з відновлюваної сировини, мають високу біорозкладність і низьку токсичність, що значно знижує екологічне навантаження у разі витоків або потрапляння у навколишнє середовище. Рослинні моторні оливи характеризуються рядом фізико-хімічних властивостей, які безпосередньо впливають на їх експлуатаційні та екологічні характеристики. Показано, що застосування рослинних олив за умови оптимізації їх складу та контролю експлуатаційних характеристик сприяє зниженню негативного впливу на навколишнє середовище та підвищенню екологічної безпеки транспортних засобів. Подальший розвиток технологій модифікації олив та оптимізації складу біомастильних матеріалів сприятиме розширенню сфери їх застосування, зменшенню негативного впливу на довкілля та підвищенню рівня екологічної безпеки двигунів і механізмів.

Ключові слова: рослинні моторні оливи, екологічна безпека, показники якості, деградація олив, біорозкладність, окиснювальна стабільність, експлуатаційні властивості, вплив на довкілля.

Постановка проблеми. У сучасних умовах посилення екологічних вимог та зменшення запасів викопних ресурсів особливої актуальності набуває пошук екологічно безпечних альтернатив традиційним нафтовим паливно-мастильним матеріалам. Екологічність моторних олив в останні роки привертає все більшу увагу у зв'язку з посиленням вимог до охорони навколишнього середовища та пошуком альтернатив традиційним нафтовим продуктам [1]. Моторні оливи безпосередньо впливають на екологічний стан довкілля на всіх етапах виробництва, експлуатації та утилізації. Особливо актуальними для

досліджень є рослинні олії, які є перспективною сировиною для виробництва біомастильних матеріалів завдяки своїй відновлюваності, біорозкладності та низькій токсичності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історично моторна олива була просто сумішшю базової оливи та присадок, що використовувалися для змащування деталей двигуна, зменшення тертя, очищення, охолодження та захисту двигуна. Однак сучасні синтетичні моторні оливи це – складні суміші базових олив та присадок, призначених для виконання різноманітних завдань, зокрема, розділення та змащення рухомих час-



тин, зменшення зносу та охолодження деталей двигуна. Олива допомагає запобігти утворенню відкладень на внутрішніх деталях двигуна, підвищити паливну ефективність двигуна, забезпечити захист в широкому діапазоні температур [2]. Таким чином, сучасні моторні оливи виконують не тільки змащувальні функції, а й відповідають за захист двигуна від зносу та покращення його працездатності.

Традиційні мінеральні моторні оливи, виготовлені з нафтопродуктів, характеризуються низькою здатністю до біологічного розкладання та тривалим негативним впливом на ґрунти і водні об'єкти. У процесі експлуатації вони зазнають окиснювальної та термічної деградації, що супроводжується утворенням токсичних сполук, які ускладнюють їх подальшу утилізацію. Синтетичні моторні оливи демонструють вищу стабільність експлуатаційних властивостей і меншу кількість шкідливих продуктів зносу, однак також залишаються потенційно небезпечними для довкілля через обмежену біорозкладність і необхідність спеціальних методів переробки [3].

Рослинні оливи є перспективною альтернативою синтетичним моторним оливам. Вони виробляються з відновлюваної сировини, мають високу біорозкладність і низьку токсичність, що значно знижує екологічне навантаження у разі витоків або потрапляння у навколишнє середовище. Водночас їх застосування потребує врахування обмежень, пов'язаних із нижчою окиснювальною стабільністю та чутливістю до температурних режимів, що обумовлює необхідність використання ефективних присадок і контролю якості в процесі експлуатації. На ефективне використання рослинних моторних оливи в двигунах внутрішнього згорання може суттєво вплинути зміна показників якості в процесі експлуатації, тому даний процес потребує комплексного аналізу як з технічного, так і екологічного погляду.

Рослинні оливи є тригліцеридами вищих жирних кислот і мають природну полярність, що забезпечує високу змочувальну здатність та ефективне утворення змащувальної плівки на поверхнях тертя. Це сприяє зниженню коефіцієнта тертя та зношування механічних вузлів, що є однією з ключових переваг біомастильних матеріалів порівняно з мінеральними або синтетичними аналогами. Окрім того, рослинні олії характеризуються високим індексом в'язкості, що забезпечує стабільність змащувальних властивостей у широкому температурному діапазоні.

Важливою перевагою рослинних оливи є їхня екологічна безпечність. У разі потрапляння в ґрунт

або водне середовище вони швидко біодеградують, не утворюючи токсичних сполук і не спричиняють тривалого негативного впливу на екосистеми. Саме тому біомастильні матеріали на основі рослинних оливи є особливо актуальними для застосування в сільському господарстві, лісовій техніці, гідравлічних системах та інших галузях, де ризик витоків змащувальних матеріалів є високим.

Разом із тим, масове використання рослинних оливи як змащувальних матеріалів має певні експлуатаційні недоліки. Наприклад, недостатня окиснювальна стабільність, схильність до термоокиснювальної деградації, а також високі температури застигання обмежують використання таких оливи за низьких температур. Наявність подвійних зв'язків у складі ненасичених жирних кислот сприяє швидкому окисненню, що призводить до утворення смол, кислот і погіршення змащувальних властивостей.

Для усунення зазначених недоліків активно розробляються методи хімічної та біотехнологічної модифікації рослинних оливи. Окрему увагу приділяють використанню ферментативних каталізаторів і йонних рідин. Додатковим напрямом підвищення експлуатаційних характеристик рослинних мастильних матеріалів є застосування екологічно безпечних присадок, які покращують антиокиснювальні, протизношувальні та антикорозійні властивості. Поєднання біосировини із сучасними пакетами присадок дозволяє створювати конкурентоспроможні змащувальні матеріали, що за низькою показників не поступаються синтетичним оливам.

Серед широкого спектра рослинних оливи, що розглядаються як сировина для біомастильних матеріалів, особливу увагу привертають пальмова та ріпакова олії, які завдяки своєму хімічному складу та експлуатаційним властивостям є найбільш перспективними для технічного застосування. Пальмова олія є однією з найбільш поширених рослинних оливи у світі та розглядається як перспективна сировина для виробництва біомастильних матеріалів. Вона отримується з плодів олійної пальми (*Elaeis guineensis*) (рис. 1) і характеризується високою доступністю, відносно низькою собівартістю та стабільною якістю, що робить її привабливою для технічного застосування. Завдяки відновлюваному походженню та здатності до біологічного розкладання пальмова олія відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки.

З хімічної точки зору пальмова олія складається переважно з тригліцеридів насичених і ненасичених жирних кислот, серед яких домінують пальмітинова та олеїнова кислоти. Такий склад забезпечує достатню полярність молекул,

що сприяє ефективному адсорбуванню на металевих поверхнях і формуванню стійкої змащувальної плівки. У результаті зменшується коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування контактних поверхонь, що є важливим для роботи механізмів у режимах граничного тертя.



Рис. 1. Плоди *Elaeis guineensis*

Пальмова олія характеризується високим індексом в'язкості, що забезпечує відносну стабільність її реологічних властивостей при зміні температури. Це дає змогу підтримувати ефективно змащування за різних умов експлуатації. Крім того, вона має добрі протизношувальні властивості та здатність знижувати шум і вібрації у вузлах тертя, що підтверджується результатами трибологічних досліджень.

Водночас використання пальмової олії як мастильного матеріалу має певні недоліки. Одним із головних недоліків є недостатня окиснювальна стабільність, зумовлена наявністю ненасичених жирних кислот, що робить олію чутливою до термоокиснювальної деградації. Це може призводити до утворення кислотних продуктів, лаків і відкладень, які погіршують експлуатаційні характеристики оливи. Також вона має порівняно високу температуру застигання, що обмежує її використання в умовах низьких температур.

Для розширення можливостей застосування пальмової оливи в змащувальних системах широко застосовуються методи її модифікації, зокрема трансестерифікація, етерифікація та синтез складних ефірів. Модифіковані продукти на основі пальмової олії демонструють покращену термічну та окиснювальну стабільність, нижчу температуру застигання та кращі протизношувальні властивості. Додаткове введення антиокиснювальних і протизношувальних присадок дозволяє отримувати біомасильні матеріали

з експлуатаційними характеристиками, близькими до мінеральних і синтетичних олив.

Ріпакова олія є також перспективною для застосування у складі біомасильних матеріалів завдяки сприятливому поєднанню фізико-хімічних, трибологічних та екологічних властивостей. Вона отримується з насіння ріпаку (*Brassica napus*) (рис. 2) і відзначається високою доступністю в аграрних регіонах, що забезпечує стабільну сировинну базу для виробництва біомасил. Відновлюване походження та здатність до біологічного розкладання зумовлюють її відповідність сучасним вимогам екологічної безпеки.



Рис. 2. *Brassica napus*

Хімічний склад ріпакової олії характеризується високим вмістом мононенасичених жирних кислот, передусім олеїнової кислоти, що позитивно впливає на мастильні властивості. Полярна природа тригліцеридів сприяє утворенню міцної адсорбційної плівки на металевих поверхнях, забезпечуючи ефективне зниження коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування. Це робить ріпакову олію особливо придатною для використання в режимах граничного та змішаного тертя.

Однією з ключових переваг ріпакової олії є її високий індекс в'язкості, що забезпечує стабільність реологічних характеристик у широкому температурному діапазоні. Завдяки цьому змащувальні властивості зберігаються як за помірних, так і за підвищених температур експлуатації. Крім того, ріпакова олія демонструє добрі протизношувальні та антифрикційні властивості, що підтверджено численними експериментальними трибологічними дослідженнями.

Разом із тим, як і більшість рослинних олив, ріпакова олія має певні експлуатаційні обмеження. Основними недоліками є обмежена окиснювальна стабільність і схильність до термоокиснювальної деградації, що може призводити до утворення

кислотних продуктів, смол і відкладень. Такі процеси негативно впливають на довговічність мастильного матеріалу та обмежують термін його роботи. Також природна ріпакова олія потребує покращення низькотемпературних властивостей для застосування в умовах холодного клімату.

З метою підвищення експлуатаційних характеристик ріпакової олії широко застосовуються методи хімічної модифікації. Додаткове використання антиокиснювальних, протизношувальних і антикорозійних присадок дозволяє отримувати біомастильні матеріали, здатні конкурувати з мінеральними та синтетичними оливами.

Постановка завдання. Мета дослідження полягає у науковому обґрунтуванні екологічної доцільності використання рослинних моторних олив шляхом встановлення закономірностей зміни їх фізико-хімічних та експлуатаційних показників у процесі експлуатації та оцінювання впливу цих змін на екологічні характеристики роботи двигунів.

Виклад основного матеріалу. Рослинні моторні оливи характеризуються рядом фізико-хімічних властивостей, які безпосередньо впливають на їх експлуатаційні та екологічні характеристики. До таких властивостей відносяться в'язкісно-температурні параметри, кислотне число, стійкість до окиснення, схильність до утворення відкладень та ступінь біорозкладності [4-7]. У процесі роботи двигуна олива піддається впливу високих температур, кисню з повітря, продуктів згоряння палива та механічних навантажень, що призводить до поступової деградації її структури. В результаті окисних процесів зростає кислотність оливи змінюється її в'язкість і знижується змащувальна здатність, що може негативно

вплинути на деталі двигуна і збільшити кількість шкідливих викидів у навколишнє середовище [8-9].

Рослинні моторні оливи характеризуються найвищою біорозкладністю та найнижчою токсичністю продуктів деградації, що зумовлює мінімальний негативний вплив на ґрунти та водні об'єкти у разі витоків або утилізації. Водночас для них характерна нижча окиснювальна стабільність і більш інтенсивне зростання кислотного числа, що обмежує тривалість ефективної експлуатації без застосування спеціальних антиокиснювальних присадок та регулярного контролю показників якості.

Мінеральні моторні оливи, навпаки, демонструють значні зміни в'язкісних характеристик і підвищений екологічний ризик у разі потрапляння в довкілля, що пов'язано з їх низькою біорозкладністю та високою стійкістю до природних процесів розкладання (табл. 1). Синтетичні оливи займають проміжне положення, поєднуючи високу стабільність експлуатаційних властивостей із помірним рівнем екологічної безпеки. Таким чином, результати порівняльного аналізу підтверджують доцільність використання рослинних моторних олив у контексті зменшення екологічного навантаження за умови оптимізації їх складу та дотримання регламентів експлуатації [9-10].

З екологічного погляду зміна якості рослинних моторних олив має подвійний характер. З одного боку, продукти їх розкладання, як правило, менш небезпечні для навколишнього середовища в порівнянні з продуктами деградації мінеральних та синтетичних олив, оскільки рослинні олії мають високу здатність до біологічного розкладання. З іншого боку, при значному підвищенні

Таблиця 1

Екологічні характеристики рослинних моторних олив та зміна їх властивостей під час експлуатації

Показник	Рослинні моторні оливи (біооливи)	Мінеральні моторні оливи	Екологічне значення
Походження сировини	Виробляються з рослинних олій (ріпакова, соєва, соняшникова)	Отримуються з нафти	Рослинні оливи є відновлюваним ресурсом
Біорозкладність	Висока (до 90–98 %)	Низька (20–40 %)	Менше накопичуються у ґрунті та воді
Токсичність для довкілля	Низька	Вища через нафтопродукти та присадки	Зменшує негативний вплив на екосистеми
Викиди при використанні	Менша кількість шкідливих продуктів	Більша кількість токсичних сполук	Покращення екологічної безпеки
Зміна в'язкості під час роботи	Може змінюватися через окиснення	Більш стабільна	Потребує контролю технічного стану
Окиснювальна стабільність	Нижча, можливе швидше старіння	Вища	Впливає на термін служби оливи
Температурна стабільність	Обмежена при високих температурах	Вища термостійкість	Важлива для роботи двигуна
Утилізація відпрацьованої оливи	Простіша, менший екологічний ризик	Потребує складнішої утилізації	Зменшує забруднення довкілля

експлуатаційних навантажень можливе збільшення витрати оливи, утворення нагару та зростання викидів забруднюючих речовин, що знижує загальний екологічний ефект від їх застосування. Тому важливою умовою екологічно безпечного використання рослинних моторних олив є контроль їхнього стану в процесі експлуатації та своєчасна заміна оливи [11-13].

При правильному відборі сировинної бази, використанні антиокиснювальних та протизношувальних присадок, а також при оптимальних режимах роботи двигуна рослинні моторні оливи здатні забезпечити прийнятний рівень експлуатаційної надійності та одночасно знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Їх застосування дозволяє зменшити забруднення ґрунтів та водних ресурсів у разі витоків та утилізації, а також скоротити залежність від невідновлюваних нафтових ресурсів.

Висновки. Пальмова та ріпакова олії є перспективною базовою сировиною для виробництва біомастильних матеріалів, особливо для застосування в умовах помірних температур і в системах, де екологічна безпечність має першочергове значення. Подальший розвиток технологій їх модифікацій та оптимізації рецептур сприятиме розширенню сфери застосування біомастил і зменшенню негативного впливу мастильних матеріалів на навколишнє середовище.

Таким чином, своєчасна заміна рослинних моторних олив у процесі експлуатації двигунів

внутрішнього згорання є ключовим фактором при оцінці їхньої екологічної ефективності та перспектив впровадження в сучасні транспортні та енергетичні системи. Комплексний підхід до оцінювання екологічних характеристик моторних олив є необхідною умовою зменшення негативного впливу транспортних і промислових систем на довкілля.

Дослідження у сфері екологічних аспектів використання рослинних моторних олив доцільно пов'язувати з поглибленим вивченням закономірностей зміни їх якості в реальних умовах експлуатації двигунів та впливу цих змін на екологічні показники транспортних і стаціонарних енергетичних установок. Актуальним напрямом є проведення довготривалих експериментальних досліджень деградації фізико-хімічних і трибологічних властивостей рослинних олив з урахуванням режимів навантаження, температурних факторів і типів двигунів. Перспективними також є дослідження ефективності сучасних біорозкладних та антиокиснювальних присадок, спрямованих на підвищення стабільності рослинних моторних олив і зменшення негативного екологічного впливу продуктів їх старіння. Окрему увагу доцільно приділити комплексній оцінці життєвого циклу рослинних моторних олив – від виробництва сировини до утилізації відпрацьованих продуктів – з метою кількісного обґрунтування їх екологічних переваг порівняно з традиційними оливами.

Список літератури:

1. Abdul R. N. Prospects of plant-based trimethylolpropane esters in the biolubricant formulation for various applications: A review. *Frontiers in Mechanical Engineering*. 2022. P. 10. DOI:10.3389/fmech.2022.833438.
2. Afonso I. S. Conventional and recent advances of vegetable oils as metalworking fluids (MWFs). *Lubricants*. 2023. Vol. 11. № 4. P. 160. DOI:10.3390/lubricants11040160.
3. Borah D. Bioremediation and biomass production with the green microalga *Chlorococcum humicola* and textile mill effluent (TE). *Proceedings of the National Academy of Sciences, India. Section B: Biological Sciences*. 2020. Vol. 90 № 2. P. 415–423. DOI:10.1007/s40011-019-01112-x.
4. He C. Modification of cottonseed oil with lipases and ionic liquid catalysts to prepare highly branched lubricant with low pour point and high viscosity. *Biochemical Engineering Journal*. 2023. Vol. 192. Art. 108815. DOI:10.1016/j.bej.2023.108815.
5. Mahmud D. N. F. Influence of contact pressure and sliding speed dependence on the tribological characteristics of an activated carbon–epoxy composite derived from palm kernel under dry sliding conditions. *Friction*. 2019. Vol. 7. P. 227–236. DOI:10.1007/s40544-018-0205-y.
6. Bhatia S. K., Bhatia R. K., Jeon J. M. An overview on advancements in biobased transesterification methods for biodiesel production: Oil resources, extraction, biocatalysts, and process intensification technologies. *Fuel*. 2021. Vol. 285. Art. 119117. DOI:10.1016/j.fuel.2020.119117.
7. García Martín J. F. Recent developments in *Jatropha* research. *Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, Inc.* 2021. ISBN 978-1-53619-132-5. DOI:10.3390/pr9050797.
8. Álvarez-Mateos P., García-Martín J. F., Guerrero-Vacas F. J. Valorization of a high-acidity residual oil generated in the waste cooking oils recycling industries. *Grasas y Aceites*. 2019. Vol. 70. Art. e335. DOI:10.3989/gya.1179182.

9. Kumar H., Sarma A. K., Kumar P. A comprehensive review on preparation, characterization, and combustion characteristics of microemulsion-based hybrid biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 117. Art. 109498. DOI:10.1016/j.rser.2019.109498.

10. Cuevas M., García Martín J. F., Bravo V. Ethanol production from olive stones through liquid hot water pre-treatment, enzymatic hydrolysis and fermentation. Influence of enzyme loading, and pre-treatment temperature and time. *Fermentation*. 2021. Vol. 7. Art. 25. DOI:10.3390/fermentation7010025.

11. Khan M., Nizami A. S., Rashid U., Naqvi M. R. Editorial: Waste biorefineries: Future energy, green products and waste treatment. *Frontiers in Energy Research*. 2019. Vol. 7. P. 3–5. DOI:10.3389/fenrg.2019.00055

12. Han Y., Gholizadeh M., Tran C. C., et al. Hydrotreatment of pyrolysis bio-oil: A review. *Fuel Processing Technology*. 2019. Vol. 195. Art. 106140. DOI:10.1016/j.fuproc.2019.106140.

13. Soria M. A., Barros D., Madeira L. M. Hydrogen production through steam reforming of bio-oils derived from biomass pyrolysis: Thermodynamic analysis including in situ CO₂ and/or H₂ separation. *Fuel*. 2019. Vol. 244. P. 184–195. DOI:10.1016/j.fuel.2019.01.156.

Ilyashenko Yu.V., Efymenko V.V. ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE USE OF VEGETABLE MOTOR OILS TAKING INTO ACCOUNT CHANGES IN THEIR QUALITY

The article considers the environmental aspects of the use of vegetable motor oils, taking into account changes in their quality indicators during operation. The main physicochemical properties of vegetable oils that affect their environmental friendliness are analyzed. A comparative analysis of changes in the quality of vegetable motor oils compared to mineral and synthetic analogues from an environmental point of view is carried out. Motor oils directly affect the ecological state of the environment at all stages of production, operation and disposal. The main environmentally significant characteristics of motor oils are the origin of raw materials, biodegradability, toxicity of degradation products, as well as the degree of environmental risk in the event of leaks or improper handling of waste materials. Traditional motor oils made from petroleum products are characterized by low biodegradability and long-term negative impact on soils and water bodies. During operation, they undergo oxidative and thermal degradation, which is accompanied by the formation of toxic compounds that complicate their further disposal. Vegetable oils are a promising alternative to traditional petroleum lubricants, these oils have significant potential for use in various fields of technology. They are produced from renewable raw materials, have high biodegradability and low toxicity, which significantly reduces the environmental load in the event of leaks or release into the environment. Vegetable motor oils are characterized by a number of physicochemical properties that directly affect their operational and environmental characteristics. It has been shown that the use of vegetable oils, provided that their composition is optimized and operational characteristics are controlled, contributes to reducing the negative impact on the environment and increasing the environmental safety of vehicles. Further development of oil modification technologies and optimization of the composition of biolubricants will contribute to expanding the scope of their application, reducing the negative impact on the environment, and increasing the level of environmental safety of engines and mechanisms.

Keywords: vegetable motor oils, environmental safety, quality indicators, oil degradation, biodegradability, oxidative stability, operational properties, environmental impact.

Дата першого надходження статті до видання: 15.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті 11.05.2026