

ГЕТЬМАН МИХАЙЛО

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8835-7172>e-mail: hetmanmisha2403@gmail.com

РОСЛИННІ ОЛІЇ ЯК ОСНОВА МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА МАЙБУТНІ ПЕРСПЕКТИВИ

Мастильні матеріали відіграють ключову роль у забезпеченні надійної роботи обладнання в різних галузях промисловості. Вихід з ладу деталей машин через відсутність або неправильний вибір мастильних засобів спричиняє значні економічні збитки. Традиційно для виробництва мастильних матеріалів використовуються мінеральні оливи, які є екологічно небезпечними. Близько 30% спожитих мастильних засобів потрапляє в навколишнє середовище, що викликає серйозне занепокоєння. У зв'язку з вичерпністю запасів мінеральних ресурсів та зростаючою увагою до екологічних проблем, зростає потреба у пошуку сталих альтернатив. Рослинні олії розглядаються як перспективна заміна мінеральних базових олів завдяки їх біорозкладності, поновлюваності, високому індексу в'язкості, добрим змащувальним властивостям та екологічній безпечності. Ця стаття узагальнює сучасні наукові досягнення у сфері використання рослинних олій як бази для мастильних матеріалів, висвітлюючи ключові переваги, обмеження та напрями подальших досліджень. Серед основних недоліків — низька окислювальна та гідролітична стабільність, висока вартість, конкуренція з харчовою сферою, температурна чутливість трибологічних властивостей та обмежені низькотемпературні характеристики. Актуальні наукові підходи до подолання цих обмежень включають застосування неїстівних олій, функціональні присадки, хімічну та термічну модифікацію. Для ширшого впровадження рослинних мастильних матеріалів необхідні подальші дослідження, а також підтримка на законодавчому рівні.

Ключові слова : рослинна олія, біомастило, мінеральне мастило, змащувальні властивості.

HETMAN MYKHAILO

Khmelnytskyi National University

VEGETABLE OIL AS A BASE FOR LUBRICANTS: CURRENT CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES

Lubricants play a critical role in ensuring the reliable and efficient operation of equipment across a wide range of industrial sectors. By reducing friction, wear, and overheating, lubricants contribute significantly to the longevity and performance of mechanical components. The absence of proper lubrication or the use of unsuitable lubricants often results in premature equipment failure, leading to substantial financial losses due to downtime, repairs, or replacement of machinery. Traditionally, mineral oils derived from petroleum have been used as the base for lubricants. However, their use is increasingly associated with environmental hazards—approximately 30% of lubricants consumed end up being released into the environment, contaminating soil and water bodies, and threatening ecosystems.

With the ongoing depletion of non-renewable mineral resources and growing awareness of environmental concerns, there is an urgent need to find more sustainable and eco-friendly alternatives. One of the most promising directions is the use of vegetable oils as a base for lubricants. Vegetable oils are renewable, biodegradable, and exhibit excellent lubricating properties, a high viscosity index, and reduced environmental impact compared to traditional mineral oils.

Despite these advantages, several challenges hinder the widespread adoption of vegetable-based lubricants. Key drawbacks include low oxidative and hydrolytic stability, relatively high production costs, competition with the food industry, sensitivity of tribological properties to temperature changes, and poor performance at low temperatures. Current scientific research aims to address these limitations through various strategies such as using non-edible oil sources, incorporating functional additives, and applying chemical or thermal modification techniques to enhance oil stability and performance.

For broader industrial adoption, continued research and development are essential, alongside regulatory support and environmental policy incentives aimed at promoting sustainable lubricant technologies.

Keywords: vegetable oil, biolubricant, mineral lubricant, lubricating properties.

Стаття надійшла до редакції / Received 28.05.2025

Прийнята до друку / Accepted 18.06.2025

Постановка проблеми

Тертя виникає внаслідок контакту між механічними компонентами під час їх відносного руху. Воно є основною причиною зносу, який, у свою чергу, призводить до втрат матеріалів, енергії та зниження ефективності роботи промислових машин. Знос знижує експлуатаційні характеристики обладнання, тому його мінімізація має важливе значення для забезпечення довговічності техніки та зниження витрат [1]. Одним з найефективніших методів зменшення тертя та зносу між рухомими поверхнями є змащення.

Мастильний матеріал — це речовина, що вводиться між двома контактуючими поверхнями для зниження тертя, зменшення зносу, забезпечення тепловідведення, видалення забруднень та підвищення загальної ефективності роботи механізмів [2]. Сучасні промислові мастильні матеріали складаються, як правило, з базової оливи та комплексу присадок. Присадки використовуються для покращення експлуатаційних характеристик, стабільності та довговічності мастила. Залежно від умов експлуатації та вимог до продуктивності, до складу мастильних матеріалів можуть входити різні типи присадок: мийні засоби, диспергатори, протизносні (AW) і протитискові (EP) присадки, поліпшувачі індексу в'язкості (VII), а також антикорозійні інгібітори [3].

Світовий ринок мастильних матеріалів охоплює надзвичайно широкий спектр застосувань, що вимагають розробки спеціалізованих складів. Це зумовило створення понад 10 000 різновидів мастильних матеріалів, які забезпечують понад 90% усіх потреб у змащуванні у глобальному масштабі [4]. Проаналізувавши дані щодо світового споживання мастильних матеріалів станом на 2014 рік, яке сягало близько 37,4 мільйона тонн [4]. З цієї інформації чітко видно домінування автомобільних і промислових мастил у структурі споживання.

Промислові мастильні матеріали становили приблизно 32% від загального обсягу та включали в себе гідравлічні оливи, металообробні рідини, трансмісійні оливи та інші.

У категорії «інші промислові оливи» (10%) представлено широкий спектр мастильних засобів, серед яких: оливи для повітряних і газових компресорів, оливи для підшипників і циркуляційних систем, компресорні оливи для холодильного обладнання, а також мастильні матеріали для парових і газових турбін.

Мастильні матеріали є критично важливими витратними компонентами практично в усіх галузях промисловості. Протягом останнього десятиліття світове споживання мастильних матеріалів стабільно перевищує 40 мільйонів метричних тонн щорічно. Згідно з даними Ajithkumar, типове мастило складається більш ніж на 90% з базового масла і менш ніж на 10% — з пакету присадок. У більшості випадків у якості базового компонента використовуються мінеральні оливи, які є екологічно небезпечними. Близько 30% усіх мастильних матеріалів, що використовуються, потрапляють у довкілля.

Фізико-хімічні властивості мінеральних мастильних матеріалів вивчаються вже багато десятиліть, і за цей час виробники накопичили значний досвід та технології, необхідні для створення складів із заданими характеристиками. Проте нині спостерігається зростання екологічної стурбованості, пов'язаної з негативним впливом мінеральних олив, а також зменшення доступних запасів нафти як сировини.

У зв'язку з цим пошук екологічно безпечних і стійких альтернатив мінеральним базовим оливам став одним із провідних напрямів наукових досліджень у галузі мастильних матеріалів [7, 9–11]. Рослинні олії розглядаються як перспективна альтернатива завдяки своїм природним технічним властивостям, зокрема хорошим змащувальним характеристикам і здатності до біорозкладання.

Цей огляд присвячений аналізу потенціалу рослинних олій як базових мастильних матеріалів, розгляду наявних технічних викликів, а також сучасних дослідницьких підходів, спрямованих на подолання обмежень, пов'язаних з їх використанням у промислових умовах.

Аналіз досліджень та публікацій

Рослинні олії здавна використовуються як мастильні матеріали. Їх легко отримувати з природних джерел, тому вони довгий час залишалися основним компонентом мастильних засобів аж до XIX століття. Однак із настанням епохи стрімкої індустріалізації потреба в мастильних матеріалах значно зросла, що призвело до підвищення цін і обмеженої доступності олій рослинного та тваринного походження. У другій половині XIX століття, після успішної розвідки й видобутку мінеральних олив, їх почали використовувати як альтернативу традиційним мастильним речовинам. Мінеральні оливи виявилися ефективними мастильними рідинками з бажаними технічними характеристиками за доступною ціною. Саме тому більшість сучасних мастильних матеріалів виготовляється на основі нафтопродуктів.

Останнім часом зростає попит на екологічно чисті мастильні матеріали, що зумовлено підвищеною увагою до захисту навколишнього середовища. Рослинні олії, як природного походження продукти, визнані швидкобіорозкладними рідинками, що робить їх перспективними кандидатами на роль базових компонентів у виробництві екологічно безпечних мастильних масел.

Із початку індустріалізації мастильні матеріали на основі мінеральних масел широко використовувалися у найрізноманітніших сферах: від промислових передач до автомобільних двигунів, металообробки, трансмісії і гідравлічних систем. Проте згодом було встановлено, що мінеральні масла з аналогічною в'язкістю не мають такого ж рівня ефективності, як олії рослинного або тваринного походження. Це пояснюється їх властивістю, відомою як «маслянистість» або «змащувальність».

Змащувальні властивості рослинних олій зумовлені їх здатністю адсорбуватися на металевих поверхнях, утворюючи стійкий моношар: полярна головка молекули прикріплюється до металу, а вуглеводневий ланцюг орієнтується майже перпендикулярно до поверхні.

Сьогодні багато країн, серед яких Австрія, Канада, Угорщина, Японія, Польща, Скандинавські держави, Швейцарія, США та країни Європейського Союзу, вже розробили або впровадили законодавство, що регулює використання мінеральних мастильних матеріалів у екологічно чутливих регіонах [8].

Загальний обсяг ринку мастильних матеріалів у США становить близько 8 250 000 тонн на рік, з яких лише 25 000 тонн припадає на мастила на основі рослинних олій [7]. Виконавчий наказ США №12873 (EO 12873) заохочує використання екологічно безпечних мастильних засобів, де це можливо без шкоди для ефективності. Ініціатива щодо якості води Великих озер (GLWQI) у США має на меті збереження та відновлення унікального водного ресурсу – Великих озер, зокрема через просування швидкобіорозкладних мастильних речовин і обмеження використання токсичних присадок до мінімального рівня.

В Австрії, наприклад, заборонено застосування мінеральних мастил, зокрема для бензопил. У Європейському Союзі нещодавно була оприлюднена Директива щодо небезпечних речовин, яка встановлює екологічні критерії оцінки потенційної загрози мастильних матеріалів для водного середовища. Ці критерії

включають оцінку водної токсичності, біорозкладності та потенціалу біоаккумуляції. Інші згадані країни також визначили стандарти оцінки екологічного впливу мастильних речовин.

Мета наукової роботи полягає в узагальненні сучасних наукових досліджень, присвячених використанню рослинних олій як базового компонента мастильних матеріалів. У межах цього дослідження розглянуто ключові переваги рослинних олій, зокрема їхню екологічну безпечність, біорозкладність і змащувальні властивості. Також проаналізовано основні обмеження, що стримують широке промислове впровадження біомастил, включаючи термічну стабільність, окиснюваність і вартість виробництва. Окрему увагу приділено перспективним напрямом подальших досліджень і вдосконалення технологій для підвищення ефективності та конкурентоспроможності рослинних мастильних матеріалів.

Виклад основного матеріалу

Ріпакова, соєва та соняшникова олії як універсальні мастила для тракторних трансмісій

Було проведено дослідження трибологічних властивостей біорозкладаних універсальних тракторних трансмісійних олій на основі трьох видів рослинних олій: ріпакової (RE), соєвої (SO) та соняшникової (SU). Їх характеристики порівнювали з властивостями комерційної універсальної тракторної трансмісійної оливи на мінеральній основі (MN).

Трибологічні випробування всіх чотирьох зразків проводилися на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1. Чотирикулькова машина тертя призначена для проведення випробувань рідких і пластичних мастильних матеріалів, що використовуються для змащування контактуючих поверхонь. Її метою є визначення основних трибологічних характеристик мастильних матеріалів відповідно до вимог стандарту ГОСТ 9490-75. Зовнішній вигляд машини тертя з чашою представлений на рисунку 1. Швидкість обертання шпинделя машини, в якому закріплена верхня кулька, у межах осьового навантаження у вузлі тертя 59...9800 Н (6...1000 кгс) становить 1460 ± 70 об/хв.



Рис.1 – Машина тертя ЧМТ-1 з чашою

Результати дослідження показали, що всі три рослинні олії продемонстрували нижчий коефіцієнт тертя порівняно з мінеральною оливою, особливо за умов підвищеного навантаження. Найменший діаметр зносу нижніх шариків (0,45 мм) виявлено у соняшникової олії, тоді як мінеральна олива показала найгірший результат — 0,585 мм, як видно з рисунка 2.

На основі отриманих даних встановлено, що ріпакова олія забезпечує найкращий показник за коефіцієнтом тертя, а соняшникова — за стійкістю до зношування. Таким чином, усі досліджувані рослинні олії виявилися кращими за трибологічними характеристиками порівняно з мінеральною універсальною трансмісійною оливою.

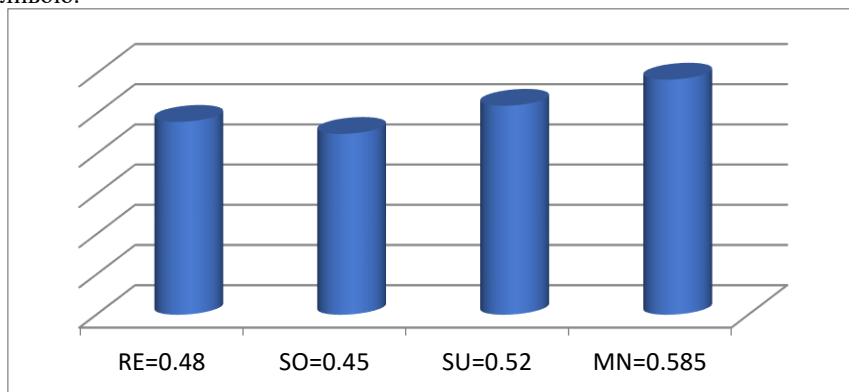


Рис.2 – Діаметр зносу нижніх шариків

Незважаючи на те, що рослинні олії демонструють відмінні трибологічні властивості, зокрема хорошу змащувальну здатність при низьких температурах, а також мають перспективу як заміники мінеральних масел у виробництві мастильних матеріалів, їх широке застосування обмежене низкою суттєвих недоліків. Основні експлуатаційні обмеження зумовлені саме властивостями базових компонентів рослинних олій, а не складом пакету присадок.

Оскільки базові запаси складають понад 90% загального об'єму мастильного матеріалу, вони в основному визначають такі параметри, як біорозкладність, летючість, чистота, здатність взаємодіяти з присадками, сумісність з іншими системними рідинами, вплив на ущільнення та еластomers, а також інші фізико-хімічні характеристики (наприклад, щільність, теплопровідність). Водночас базова олива суттєво впливає на окислювальну стабільність, схильність до утворення відкладень, стабільність при низьких температурах, гідролітичну стійкість та в'язкісні властивості.

Інші параметри, такі як змащувальна здатність, антикорозійний захист, вантажопідйомність, кислотність, зольність, піноутворення, деемульгувальна здатність, водовідділення та колір, значною мірою залежать від присадок або домішок. Отже, при оцінюванні мастильних матеріалів насамперед враховують властивості, обумовлені базовою оливою. Окрім біорозкладності, важливими є такі параметри, як чистота (вміст твердих частинок), сумісність із мінеральними мастильними матеріалами, стабільність під час зберігання, вміст води й кислот, в'язкість, індекс в'язкості, температура застигання та хмарності, летючість, окислювальна стабільність, а також сумісність з еластомерами. Додатково можуть оцінюватися такі показники, як водовідділення, деемульгувальна здатність, антикорозійні властивості, зольність і схильність до піноутворення, особливо у випадках підозри на забруднення оливи без присадок.

Одним з основних недоліків рослинних олій є підвищений знос за умов високих температур та ковзання. Зокрема, було виявлено, що оливкова та соєва олії демонструють значний ступінь зносу при температурі 150 °C та швидкості ковзання понад 0,4 м/с. Крім того, жирнокислотні компоненти, які входять до складу рослинних олій, можуть провокувати знос при перевищенні певних критичних температур. Ці температури переходу залежать від типу жирних кислот, властивостей поверхонь, що змащуються, а також від навантаження і швидкості ковзання.

Висновки з даного дослідження і перспективи

Незважаючи на те, що більшість досліджень мастильних матеріалів на основі рослинних олій обмежуються лабораторними випробуваннями, вже існують фактичні дані щодо їхньої продуктивності у реальних умовах експлуатації. Очікується, що з виходом на ринок комерційних біомастил кількість таких даних значно зросте. Зазвичай рецептури біомастил проходять попередні скринінгові випробування для оцінки ефективності у конкретних умовах, перш ніж бути протестованими на реальному обладнанні кінцевого призначення.

Рослинні олії найчастіше використовуються в тих випадках, коли неминучі витрати або коли система працює з втратою мастила. До таких застосувань належать: мастила для двотактних двигунів, бензопил, змащувальні матеріали для форм, а також оливи для сільськогосподарської, гірничодобувної, лісгосподарської техніки, відкритих передач та ін.

Наприклад, мастило, виготовлене з олій насіння, було використано для змащування підшипника шліфувального двигуна та лічильних шестерень паливороздавального пристрою. Протягом двох тижнів роботи не було зафіксовано зносу, іржі, витoku мастила або інших дефектів, а сама текстура мастила залишалася стабільною.

У механічній промисловості рослинні олії набули поширення як основа для металообробних рідин.

Інше дослідження показало, що суміш соняшникової та ріпакової олій з присадкою до екстремального тиску підвищила ефективність різання алюмінієвого сплаву Al 7075-T6 на 38% порівняно з комерційною нафтовою рідиною, зменшивши знос інструменту.

Мастильні матеріали відіграють ключову роль у всіх галузях промисловості, оскільки знижують тертя, мінімізують або запобігають зносу, забезпечують охолодження та відведення продуктів зносу від зони контакту деталей машин. У більшості випадків основою таких матеріалів є мінеральна олива, яка, попри свою ефективність, є екологічно небезпечною. За оцінками, близько 30% використаних мастильних матеріалів потрапляє в довкілля. З огляду на обмеженість запасів мінеральної сировини та зростання екологічних ризиків, пов'язаних з її застосуванням, питання пошуку альтернатив стало одним з пріоритетних напрямів у галузі мастильних матеріалів.

Рослинні олії розглядаються як перспективна альтернатива мінеральним базовим оливам завдяки ряду техніко-функціональних властивостей, а також високій здатності до біологічного розкладання. У цьому дослідженні представлено огляд сучасних наукових робіт, присвячених використанню рослинних олій як базового компонента мастильних матеріалів. Основну увагу зосереджено на їх потенціалі, існуючих викликах та актуальних наукових підходах до вдосконалення характеристик таких біооснов.

Література

1. Манг, Т., & Дрезель, В. (2006). *Мастила та мастило*. Wiley-VCH; Джон Вайлі.

2. Менезес, П. Л., Рівз, К. Дж., & Ловелл, М. Р. (2013). Трибологія для вчених та інженерів: від основ до передових концепцій (с. 295–333). Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1945-7_10
3. Лінгг, Г., & Госалія, А. (2008). Динаміка світової промисловості мастильних матеріалів: ринки, конкуренти та тенденції. *Матеріали 16-го Міжнародного трибологічного колоквиуму*, Технічна академія Есслінгена.
4. Бартц, В. Дж. (2006). Екотрибологія: екологічно прийнятні трибологічні практики. *Tribology International*, 39(8), 728–733.
5. Фан, В. Т. (2010). *Регенерація відпрацьованих мастильних матеріалів та біомастильних матеріалів на нафтовій основі за допомогою нової екологічної та стійкої технології* (Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії, Університет Південної Каліфорнії, США).
6. Калхатур, А. С., Баджадж, Д. С., & Мхаске, В. М. (2015). Оцінка трибологічних властивостей олії з насіння бавовнику для багатociлндрового двигуна. *Матеріали конференції Міжнародного журналу інновацій в інженерії, дослідженнях та технологіях*, 1–7.
7. Стоїлковіч, М., & Колб, М. (2016). Трибологічні властивості біорозкладаної універсальної тракторної трансмісійної оливи. *Tribology in Industry*, 38(2), 229–234.
8. Бахарі, А., Льюїс, Р., & Слеттер, Т. (2018). Тертя та зношування рослинних олій і їх сумішей з мінеральною моторною оливою в умовах зворотно-поступального ковзного контакту. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 232(3), 1–29.

References

1. Mang, T., & Dresel, W. (2006). *Lubricants and lubrication*. Wiley-VCH; John Wiley.
2. Menezes, P. L., Reeves, C. J., & Lovell, M. R. (2013). Tribology for scientists and engineers: From basics to advanced concepts (pp. 295–333). Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1945-7_10
3. Lingg, G., & Gosalia, A. (2008). Dynamics of the global lubricants industry – markets, competitors and trends. *Proceedings of the 16th International Tribology Colloquium*, Technische Akademie Esslingen.
4. Bartz, W. J. (2006). Ecotribology: Environmentally acceptable tribological practices. *Tribology International*, 39(8), 728–733.
5. Fan, V. T. (2010). *Regeneration of used lubricants and petroleum-based biolubricants using a novel green and sustainable technology* (Doctoral dissertation, University of Southern California, USA).
6. Kalkhapure, A. S., Bajaj, D. S., & Mhaske, V. M. (2015). Evaluation of tribological performance of cottonseed oil for multicylinder engine. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology – Conference Proceedings*, 1–7.
7. Stoilkovic, M., & Kolb, M. (2016). Tribological properties of biodegradable universal tractor transmission oil. *Tribology in Industry*, 38(2), 229–234.
8. Bahari, A., Lewis, R., & Slatter, T. (2018). Friction and wear behaviour of vegetable oils and their blends with mineral engine oil in reciprocating sliding contact under boundary conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 232(3), 1–29.