

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-6>

УДК 631.3–192:662.63

Д. П. Журавель<sup>1</sup>, д-р техн. наукВ. В. Дідур<sup>2</sup>, д-р техн. наукМ. В. Шевчук<sup>2</sup>, Ph.D.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

ORCID: 0000-0001-7584-5073

ORCID: 0000-0002-0123-0348

<sup>1</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного<sup>2</sup> Уманський національний університет

e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua

## ОБГРУНТУВАННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОЛОГІЧНИХ ОЛИВ ДЛЯ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

*Анотація.* У роботі проведено обґрунтування триботехнічних властивостей біологічних олив для гідросистем сільськогосподарської техніки. Встановлено, що в разі використання біологічних змащувальних матеріалів рекомендується застосування металоплакувальних добавок, що унеможливить шкідливий вплив вільних жирних кислот оливи на метали деталей сполучень і забезпечить нормовані ресурси вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки. Для збільшення строку служби елементів гідравлічних систем з 8000 до 9000 мотогодин потрібно вводити в біологічні оливи добавки: металоплакувальну типу МКФ-18 у кількості 0,8...1,0 % для забезпечення ефекту вибіркового переносу.

*Ключові слова:* триботехнічні властивості, гідравлічна система, біологічні оливи, сільськогосподарська техніка, сервовітна плівка, механізм вибіркового перенесення металу.

*Постановка проблеми.* Змащувальні матеріали на основі продуктів рослинного і тваринного походження широко використовували в техніці, починаючи з бронзового століття і аж до середини ХХ століття. Топлений яловичий і свинячий жир (змащення для осей коліс залізничних вагонів); оливи: оливкова (моторні оливи), спермацетова, китовий жир (індустріальні оливи для текстильного обладнання, оливи для трансмісій), ріпакова (технологічна олія в металообробці), кокосова (технологічні оливи для прокатки металів), талова (компонент циліндрових олив). Для поліпшення експлуатаційних властивостей в ці оливи вводили різні добавки та інші оливи.

Розробка високоякісних нафтових олив із присадками, розширення використання синтетичних змащувальних матеріалів відтіснили рослинні оливи та жири на другий план. Цьому сприяла їх більш висока вартість (порівняно з нафтовими) і низька термічна, антиокислювальна й гідролітична стабільність. Однак відновлюваність сировинних ресурсів, екологічність, високі змащувальні властивості зумовили відродження інтересу до природних олив і жирів, продуктів і відходів їх переробки як основ і компонентів змащувальних матеріалів.

До теперішнього часу продукти на базі рослинних олив займають невелику нішу на світовому ринку. Переваги рослинних олив близькі до синтетичних, ряд синтетичних продуктів виробляють на основі «біосировини» для забезпечення добрих екологічних властивостей.

Принципово новий напрям – це виробництво олив, у яких дисперсійним середовищем слугують рослинна олива, її суміш із нафтовою або синтетичною. Основна екологічна перевага таких продуктів – біорозклад. Їх структура практично не відрізняється від структури мастил на базі нафтових олив, тому дослідження в цій галузі є актуальним і має практичну цінність.

*Аналіз останніх досліджень.* Альтернативою змащувальним матеріалам на нафтовій основі можуть слугувати масла (жири) рослинного і тваринного походження, біологічні мастильні мате-



ріали (БСМ). Вони нетоксичні, володіють високим (до 100 %) біорозкладом і прекрасними змащувальними властивостями [1–4]. Ці продукти й відходи їх переробки можна використовувати для виробництва мастильних матеріалів практично всіх видів: олив, пластичних мастил, мастильно-охолоджувальних технологічних засобів (МОТЗ), технологічних мастил, а також присадок.

Виробництво тваринних жирів засноване переважно на витоплюванні їх з сировинної маси; рослинних олив – на холодному й гарячому пресуванні олієвмісного насіння, екстракції або комбінуванні цих методів. Поновлювальною сировиною для виробництва мастильних матеріалів можуть слугувати рослинні оливи та тваринні жири після попереднього очищення – рафінації, продукти їх хімічної переробки – складні ефіри, полімерні та сульфовані з'єднання, а також відходи рафінації – жирові гудрони, дистильовані жирні кислоти [5–11].

За хімічним складом рослинні оливи являють собою тригліцериди – повні складні ефіри гліцерину та вищих одноосновних карбонової кислоти, як насичених (стеаринової, пальмітинової), так і ненасичених (олеїнової, лінолевої). У оліях завжди присутні вільні кислоти (а іноді і спирти), мила, фосфати, вітаміни, фарбувальні та слизисті речовини [12–17]. Специфічний склад таких продуктів обумовлює їх унікальні властивості як мастильних матеріалів. Входячи до складу рослинних олій, жирні кислоти діють як поверхнево-активні речовини (ПАР), їх складні ефіри утворюють мастильну плівку на поверхні тертя, жирні спирти виступають у ролі своєрідних розчинників. Відомо, що в багатьох країнах ведуться роботи з отримання на базі рослинних олив змащувальних матеріалів, присадок і пластичних мастил, найбільш інтенсивно у США, Англії, ФРН, Австрії [18–23]. Отже, цей напрям досліджень має науковий інтерес і практичну цінність.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є обґрунтування триботехнічних властивостей біологічних олив для гідросистем сільськогосподарської техніки.

*Основна частина.* Як відомо з основних положень хімотології і триботехніки, проблеми зменшення тертя, корозії та загального зносу машин і механізмів, тісно пов'язані між собою. Незважаючи на те що хімотологія і триботехніка мають багато спільного, між ними є істотні розходження. Хімотологія безпосередньо зв'язана з науковими основами синтезу й виробництва паливо-мастильних матеріалів. Крім того, хімотологія займається як теорією, так і практикою горіння палив, окислювання і зміни властивостей паливо-мастильних матеріалів з урахуванням їх збереження, експлуатації та ін. Усіма цими питаннями триботехніка практично не займається. З іншого боку, триботехніка більшою мірою займається металом як таким, питаннями машинобудування, контактними взаємодіями, адгезійним зносом, тертям, корозійно-механічними видами зносу тощо. В останньому випадку хімотологія і триботехніка спираються на електрохімію і знання про корозію, міри її попередження за допомогою різних засобів, у тому числі із застосуванням інгібірованих нафтопродуктів різного призначення. Інакше кажучи, хімотологія більшою мірою стосується нафтопереробної і нафтохімічної промисловості, триботехніка – машинобудування. Розвиваючись паралельно, вони взаємно збагачують одна одну й забезпечують основні напрями в боротьбі з тертям, корозією і загальним зносом.

Для оцінки тертя потрібно врахувати взаємодію між контактуючими тілами, зовнішні впливи, накопичення та розсіювання енергії та наслідки трибологічних процесів.

Основними елементами трибосистеми є деталі з твердих тіл D1, D2, мастильний матеріал С і навколишнє середовище О. Деталлями можуть бути різні деталі машин (у нашому випадку – шестерня та платик гідронасоса); мастильний матеріал (робоча рідина); довкілля – безпосереднє оточення деталей.

Взаємодії, що протікають у статичному та динамічному станах трибосистеми, схематично зображені на рис. 1 і 2.

У трибосистемі спектр зовнішніх впливів становлять сили або енергія (механічна, електрична, тепла), інакше кажучи, зовнішні впливи мають енергетичний характер.

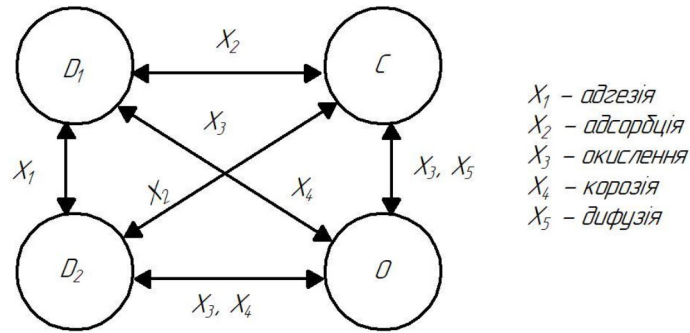


Рис. 1. Взаємодії, які протікають у статичному стані трибосистеми

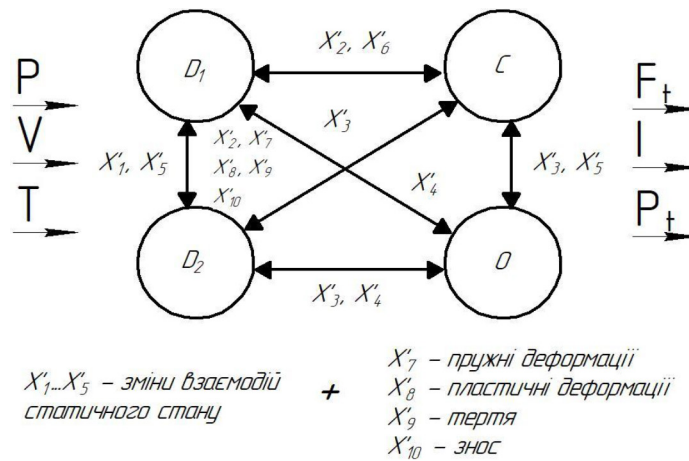


Рис. 2. Взаємодії, що протікають у динамічному стані трибосистеми

Основними наслідками трибопроцесів є опір тертя  $F_t$ , зношування та заїдання  $I$ , супутні процеси  $P_t$ .

Трибологічна система може змінювати свої функціональні характеристики під час роботи. Окремі стани, у яких може бути трибосистема під час експлуатації, можна показати на графіку зміни зношування від часу (рис. 3).

Система автоматично пристосовується до оптимальних умов взаємодії деталей  $D_1$  та  $D_2$ . Це період саморегулювання. Властивості деталей і взаємодії між ними змінюються таким чином, що

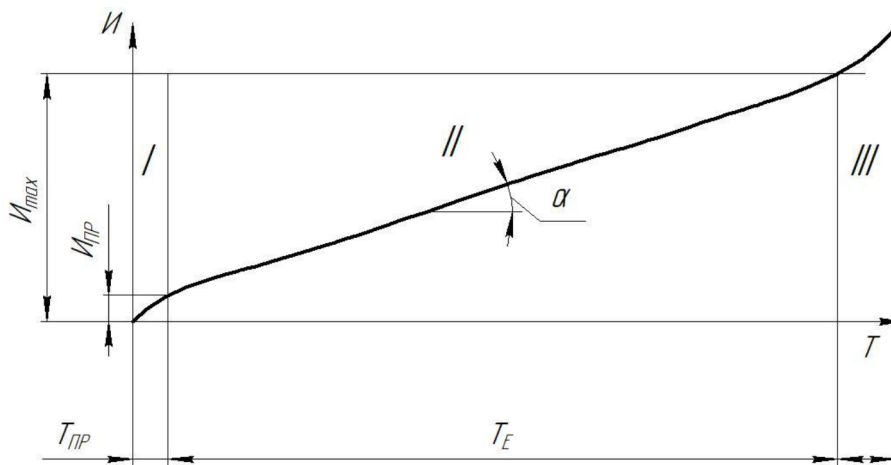


Рис. 3. Періоди роботи трибосистеми:

$I$  – період припрацювання деталей, що є з погляду інтенсивності зношування нестационарним

за незмінного зовнішнього впливу зменшується інтенсивність зношування. II – період нормальної експлуатації, коли процеси зношування стаціонарні в часі роботи системи. Цей стан триваліший за всі інші стани експлуатації. Від тривалості другого періоду залежить тривалість нормальної експлуатації системи. III – період інтенсивного зношування деталей системи, зношування може мати лавиноподібний характер і призвести до аварії. Інтенсивне зношування є наслідком змін властивостей матеріалів і характеристик деталей, що перебувають у трибоконтакті. З усіх факторів, що впливають на тертя й інтенсивність зношування деталей гідросистеми під час її експлуатації, найбільш керованим є вплив мастильного матеріалу (робочої рідини).

У разі застосування біологічних змащувальних матеріалів рекомендується застосування металоплакувальних присадок, що унеможливить шкідливий вплив вільних жирних кислот оливи на метали деталей сполучень і забезпечить нормовані ресурси вузлів і агрегатів сільсько-господарської техніки. Результати досліджень щодо впливу концентрації багатофункційної присадки МК «МКФ-18» для ріпакової оливи до стабілізації коефіцієнта тертя наведені на рис. 4.

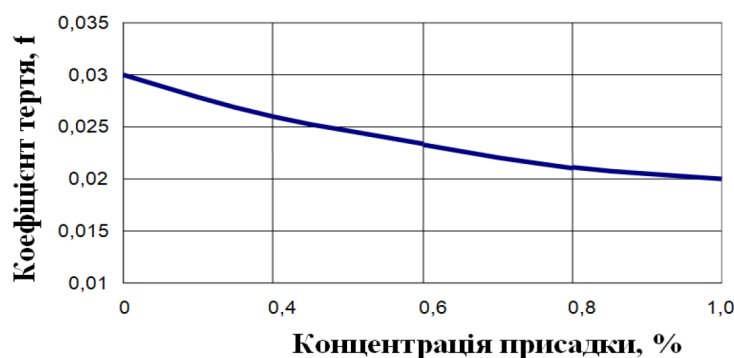


Рис. 4. Залежність коефіцієнту тертя від концентрації багатофункційної присадки МК «МКФ-18» для ріпакової оливи

Із залежності видно, що стабілізація значень коефіцієнта тертя відбувається за концентрації присадки МК «МКФ-18» для рослинної ріпакової оливи в межах 0,9–1,0 %.

На рис. 5 наведено структурну схему методології дослідження властивостей робочих рідин для гідравлічних систем.

Гістограми зносу пар тертя елементів гідроприводу в середовищі біологічних оливи наведені на рис. 6.

Із характеру гістограми випливає, що триботехнічні властивості біологічних оливи кращі за нафтові. Під час роботи трибоспряжень, основу яких становить мідь, у середовищі біологічних оливи забезпечується ефект вибіркового перенесення металів.

Механізм реалізації вибіркового перенесення металів – це вид тертя, який обумовлений мимовільним утворенням в зоні контакту тонкої металевої плівки, що не окислюється, має низький опір зсуву і не здатна накопичувати за деформації дислокації. На плівці внаслідок хімічного зв'язку може відбуватися утворення координаційних сполук продуктів механічної деструкції вуглеводнів оливи, створюючи додатковий антифрикційний шар. Ця плівка підвищує зносостійкість поверхні (до двох порядків) та знижує сили тертя (на порядок) порівняно з аналогічними умовами тертя в разі граничного змащення.

З літературних джерел [6; 12; 13] випливає, що ефект вибіркового перенесення дає змогу під час створення вузлів тертя зменшити їх вагу та габарити на 15–20 % шляхом підвищення (в 1,5–2 рази) вантажопідйомності пар тертя, суттєво підвищити коефіцієнт корисної дії машини (наприклад, для глобoidного редуктора з 0,7 до 0,85, а для пари гвинт – гайка з 0,25 до 0,5), а отже, скоротити витрати електроенергії, підвищити надійність і збільшити термін служби машин та міжремонтні терміни, а також завдяки цьому значно (до 2 разів) скоротити

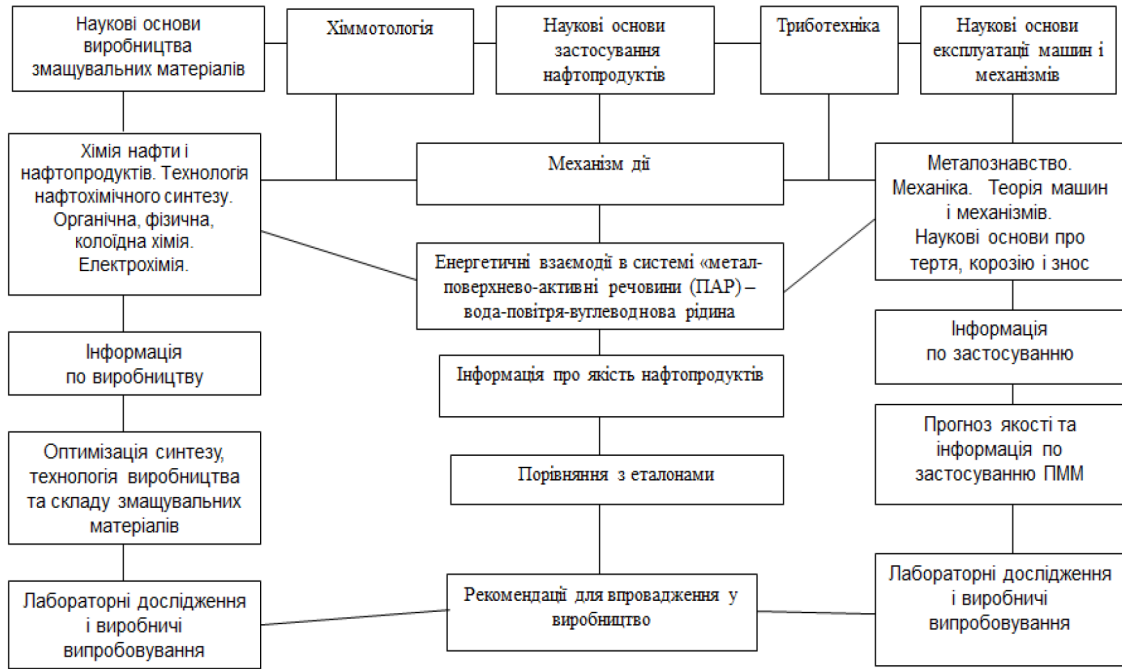


Рис. 5. Структурна схема методології дослідження властивостей робочих рідин для гідравлічних систем

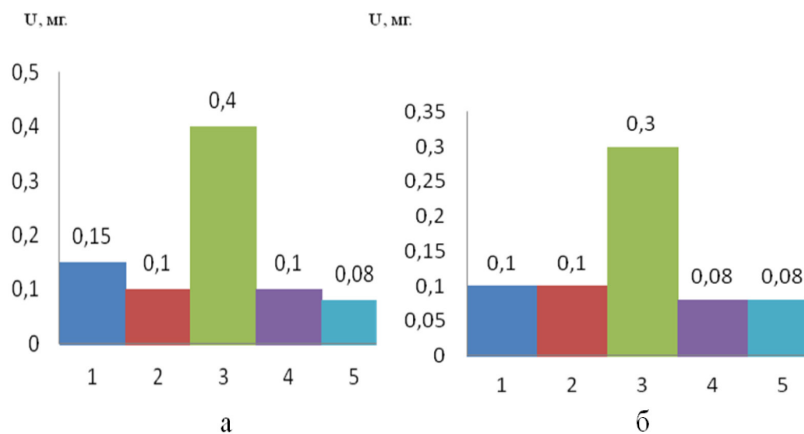


Рис. 6. Гістограми зносу пар тертя елементів гідравлічних систем в середовищі біологічних олив:

а – знос пари тертя «золотник – корпус гідророзподільника»; б – знос пари тертя «торець шестерні гідронасосу – пластик» 1 – ріпакова олива; 2 – ріпакова олива + 1,0 % МК «МКФ-18»; 3 – нафтова олива М-10-В2; 4 – соняшникова олива; 5 – соняшникова олива + 1,0 % МК «МКФ-18»

витрати праці, часу, енергії на приробіток та обслуговування машини, зменшити приблизно вдвічі витрату мастильних матеріалів (рис. 7).

Металеву мідну плівку, що утворюється в процесі тертя, називають «сервовитною» (від латів. servo-witte – «рятувати життя»). Вона являє собою речовину (в цьому випадку метал), утворену потоком енергії та існуючу в процесі тертя. Тертя не знищує плівку, воно її створює. Продукти зношування плівки утримуються в зазорі електричними силами. Плівка під час тертя утворюється з одного з матеріалів, що беруть участь у терті (бронзи, латуні), або іншого мідного сплаву, або з мастильного матеріалу, що містить порошки пластичних металів, їх солі, комплексні сполуки металів, металорганічні сполуки.

У разі деформування сервовитна плівка не руйнується. Вона приймає всі навантаження, покриваючи нерівності поверхонь сталевих деталей, які беруть участь у процесі тертя.

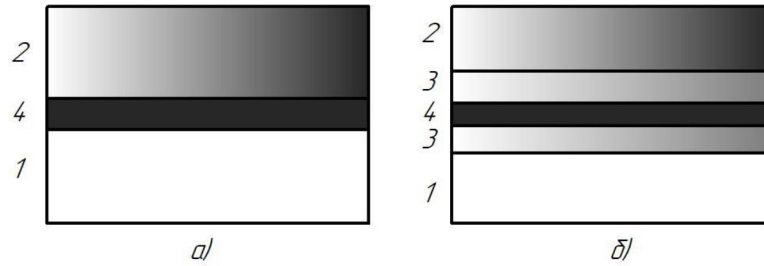


Рис. 7. Схеми контакту деталей у разі граничного тертя (а) та в разі вибіркового перенесення (б):  
1 – сталь; 2 – бронза; 3 – серфовитні плівки; 4 – плівки оливи

Структура плівки відрізняється від структури звичайної міді, вона квазірідка – має багато вакансій і мало дислокацій, утворюється в процесі тертя (у стиснених умовах).

Механізм формування серфовитної плівки найзручніше простежити з прикладу пари тертя бронза – сталь серед гліцерину. У період роботи пари відбувається розчинення поверхні тертя бронзи. Гліцерин діє як слабка кислота. Атоми легуючих елементів бронзи (олово, цинк, залізо, алюміній та ін.) йдуть у мастильний матеріал, унаслідок чого поверхня бронзи збагачується атомами міді (рис. 8). Після відходу атомів легуючих елементів з поверхні бронзи деформування її під час тертя викликає дифузійний потік нових атомів легуючих елементів до поверхні, що переходять у мастильний матеріал, і так далі.

Після того як мідна плівка покриє бронзову та сталеву поверхні, молекули гліцерину вже не можуть взаємодіяти з бронзою і «втягувати» атоми легуючих елементів, процес розчинення бронзи припиняється і настає режим вибіркового перенесення.

Як встановив С. Г. Красіков, процес утворення серфовитної плівки на сталевій поверхні відбувається дискретно. Частички міді з бронзової поверхні переносяться на вершини нерівностей залізної поверхні, тобто на ті ділянки сталі, які безпосередньо контактують із бронзою. Потім поступово відбувається «сповзання» міді, що накопичилися в западинах нерівностей.

Гліцерин під час тертя руйнує окисну плівку і на сталевій поверхні, як відновник, як і для міді, забезпечує високу міцність зчеплення мідної плівки зі сталеву поверхнею. Унаслідок цього остання покривається мідною плівкою, і пара тертя сталь – бронза стає парою мідь – мідь.

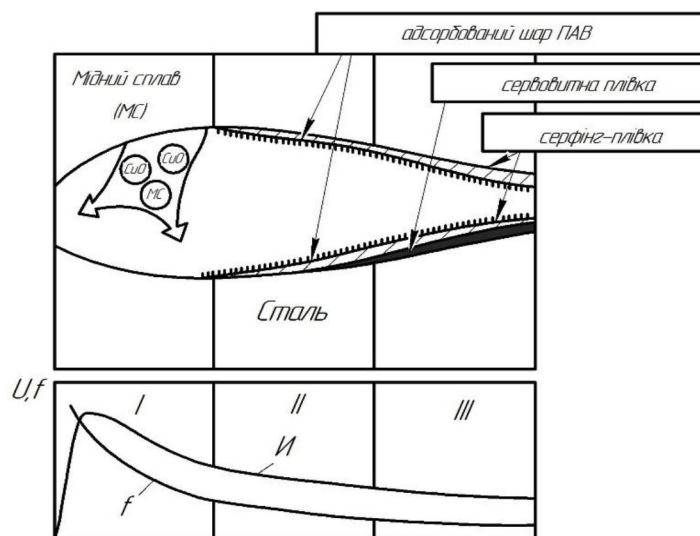


Рис. 8. Реалізація вибіркового перенесення в парі тертя «мідний сплав – сталь»:

I – вибіркоче розчинення мідного сплаву утворення оксидів і частинок переносу; II – відновлення оксидів та утворення серфовитної та серфінг-плівок; III – утворення адресованих шарів ПАВ



Утворення плівки міді на бронзовій поверхні відбувається внаслідок електрохімічного процесу – процесу розчинення металу. Внаслідок утворення сервовитної плівки між анодними й катодними ділянками поверхні бронзи процес розчинення може повністю припинитися, настане режим тертя. Якщо з будь-яких причин мідна плівка зруйнується, то знову відбудеться розчинення бронзи, і поверхня збагачуватиметься міддю, поки знову не настане пасивний стан.

Аналіз процесів, що відбуваються в сервовитній плівці, та із забезпеченням її деформації під час тертя беззношуваного мідного сплаву та сталі, показує, що інтенсивність зносу досягає  $10^{-11}$  та менше.

За певної насиченості сервовитної плівки дислокаціями, що утворюються під час тертя, відбувається кінетичний перехід від консервативного руху дислокацій до переповзання до поверхні, що забезпечується наявністю великої кількості вакансій, а також унаслідок малої товщини плівки – близькістю до поверхні тертя й осмотичним тиском. На поверхні міді, на майданчиках виходу дислокацій (місцях контакту), у цей час відбувається структурна реорганізація, «витагування» атомів міді під дією хімічно активних компонентів мастильного середовища – лігандів – у граничний шар, ослаблення зв'язків із найближчими атомами поверхні, що завершується переходом атомів, іонів міді у змащення у вигляді комплексних сполук (трибокоординація).

Координаційні сполуки (комплексні сполуки), що утворюються в мастильному матеріалі внаслідок розчинення мідного сплаву, не є міцними. За підвищення тиску або температури вони розпадаються на координуючий атом та ліганди. Ліганди залишаються в мастильному матеріалі, а координуючий атом з'єднується із сервовитною плівкою. Цьому допомагає явище електрофорезу, завдяки якому іони втягуються в зазор між деталями, що труться, а не губляться з мастилом. Виникає своєрідний іонний обмін, який зберігає матеріал плівки. Цикл утворення комплексного з'єднання та його розпаду повторюється. За нормальної роботи вузла тертя співвідношення між утворенням координаційних з'єднань та їх розпадом має бути близьким до одиниці.

Є можливість заздалегідь вводити в мастильний матеріал координаційні з'єднання металів (міді, олова), що підвищує надійність роботи з'єднання, які труться. На цій основі створюються металоплакуючі мастильні матеріали, що реалізують ефект беззносності.

Комплексне з'єднання отримує можливість рухатися поверхнею, з'єднуючись з іншими комплексами в острівці плівки.

Утворення таких острівців підтверджено рентгеноструктурним аналізом. Плівка подібною будови має низку особливостей, властивих лише за умов тертя в режимі ВП. Цю плівку називають серфінг-плівкою, вона є додатковим захистом поверхонь тертя від зношування.

Сервовитна плівка може утворюватися у вузлі тертя сталь – сталь під час роботи з металоплакувальними мастильними матеріалами, що містять дрібні частинки бронзи, міді, свинцю, срібла та ін. Такі плівки пластичних металів пористі та містять у порах мастильний матеріал. Коефіцієнт тертя знижується, а сталеві поверхні не зношуються. Під час тертя зсув поверхонь тертя відбувається всередині плівок, що утворюються.

*Висновок.* Таким чином, з ефектом беззносності утворюються нові структури, які екранують основні матеріали деталей, що труться. Ці структури мають особливі властивості: вони обмінюються із зовнішнім середовищем енергією і речовиною, деформуючись, не руйнуються, їх продукти зносу, якщо такі з якихось причин утворюються, не йдуть у мастильний матеріал, а втягуються в зазор електричними силами. Для збільшення строку служби елементів гідравлічних систем з 8000 до 9000 мотогодин потрібно вводити в біологічні оливи добавки: багатofункціональну типу МК «МКФ-18» у кількості 0,8...1,0 % для забезпечення металоплакувального ефекту й антифрикційну присадку типу SMT 2514 в кількості 6...8 % для покращення змащувальних властивостей в режимі граничного тертя.

*Список використаних джерел*

1. Журавель Д. П. Підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ, 2018. Вип. 282. С. 279–292.
2. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. Вип. 18, т. 2. Мелітополь, 2018. С. 105–118.
3. Журавель Д. П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних паливних. *Науковий вісник ТДАТУ: Електронне наукове фахове видання*. Вип. 8. Т. 2. Мелітополь : ТДАТУ, 2018. С. 91–107.
4. Журавель Д. П. Моделювання працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. Вип. 19. Т. 3. Мелітополь, 2019. С. 57–68.
5. Мілько Д. О. Методика складання раціону великої рогатої худоби на основі поживної цінності кормових компонентів. *Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодержавний збірник / ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2019. Вип. 10 (109). С. 91–96.
6. Бондар А. М. Використання біологічної оливи для сільськогосподарської техніки. *Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодержавний збірник / ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2019. Вип. 10 (109). С. 125–131.
7. Gritsaenko G., Gritsaenko I., Bondar A. Mechanism for the Maintenance of Investment in Agriculture. Modern Development Paths of Agricultural Production. *Springer Nature Switzerland AG*. 2019. P. 29–40.
8. Samoichuk K., Viunyk O., Milko D., Bondar A. Research on milk homogenization in the stream homogenizer with separate cream feeding. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 142–148.
9. Milko D., Samoichuk K., Postol Y. Revealing new patterns in resourcesaving processing of chromium-containing ore raw materials by solidphase reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 1/12 (103). P. 24–29.
10. Milko D., Sclyar O., Sclyar R., Pedchenko G. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa laying on storage with two-phase compaction. *INMATEH – Agricultural Engineering*. National Institute Of Research-Development For Machines And Installations Designed To Agriculture And Food Industry – INMA Bucharest, 2020. Vol. 60 (1). P. 269–274.
11. Samoichuk K., Palyanichka N., Oleksienko V., Petrychenko S. Improving the quality of milk dispersion in a counter-jet homogenizer. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 633–640.
12. Бондар А. М. Покращення та оцінка якісних показників відпрацьованих автотракторних олив для сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання*. Мелітополь : ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1. 15 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-6
13. Бондар А. М. Прогнозування ресурсу трибосистем при використанні сумішевих олив. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. Мелітополь : ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1. 19 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-10
14. Бондар А. М., Дашивець Г. І., Паніна В. В. Обґрунтування швидкісних параметрів роботи машино-тракторного агрегату. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання*. Мелітополь : ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. С. 85–97. 13 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-16
15. Zhuravel D. Research of lubricant properties of used tractor motor oils. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання*. Мелітополь : ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. 18 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-5
16. Kuznetsov M., Lysenko O., Chebanov A. (2021). Ensuring power balance in a hybrid power system with a backup generator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 6 (8 (114)). P. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245557>
17. Бондар А. М., Дашивець Г. І., Паніна В. В. Методика обробки емпіричних даних якісних показників роботи колісної машини. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання / ТДАТУ ; гол. ред. д-р техн. наук, проф. В. М. Кюрчев*. Мелітополь : ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 2. 13 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-2-2

18. Samoichuk K., Petrychenko S., Bondar A., Hutsol T., Kubo' n, M., Niemiec M., Mykhailova L., Gródek-Szostak Z., Sorokin D. Modeling of Diesel Engine Fuel Systems Reliability When Operating on Biofuels. *Energies*. 2022. Vol. 15, 1795. <https://doi.org/10.3390/en15051795>

19. Kaplan M., Klimek K., Maj G., Bondar A., Lemeshchenko-Lagoda V., Boltianskyi B., Boltianska L., Syrotyuk H., Syrotyuk S., et al. Method of Evaluation of Materials Wear of Cylinder-Piston Group of Diesel Engines in the Biodiesel Fuel Environment. *Energies*. 2022. Vol. 15, 3416. <https://doi.org/10.3390/en15093416>

20. Журавель Д. П. Вплив технічного обслуговування і ремонту на надійність машин та обладнання при використанні біологічних рідин. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. Вип. 10. Том 1. Мелітополь, 2020. 9 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-3

21. Журавель Д. П. Рациональне використання біологічних олив для мобільних енергетичних засобів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. Вип. 10. Том 1. Мелітополь, 2020. 17 с. DOI: 10.31388 / 2220-8674-2020-1-9

22. Poliakov A., Volokh V., Andreev A. та ін. Identifying patterns in the structural-phase transformations when processing oxide doped waste with the use of carbon reducer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 5 (12 (131)). P. 25–30.

23. Rebenko V., Lukianenko I., Volokh V., et al. Establishing patterns of structural-phase transformations when processing technogenic waste of high-speed steels by carbon thermal reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 4 (12 (136)). P. 6–11.

Стаття надійшла до редакції 08.10.2025

Стаття прийнята 12.11.2025

Статтю опубліковано 22.12.2025



D. Zhuravel<sup>1</sup>, V. Didur<sup>2</sup>, M. Shevchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

<sup>2</sup>Uman National University

## JUSTIFICATION OF TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF BIOLOGICAL OILS FOR HYDROSYSTEMS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT

### Summary

In the work, the substantiation of the tribotechnical properties of biological oils for hydraulic systems of agricultural machinery is carried out. It was established that when using biological lubricants, it is recommended to use metal-coating additives, which will allow to exclude the harmful effect of free fatty acids of oil on the metals of the coupling parts and to ensure normalized resources of nodes and aggregates of agricultural machinery. To increase the service life of hydraulic system elements from 8,000 to 9,000 motor hours, it is necessary to introduce additives into biological oils: metal-coating type ICF-18 in the amount of 0.8...1.0 % – to ensure the effect of selective transfer. by the transfer of copper atoms and ions into the lubricant in the form of complex compounds (type-coordination). Thus, due to the effect of insignificance, new structures are formed that exaggerate the original materials of the parts that are missing. These structures have special properties: they exchange energy and matter with the external environment, deforming, not being destroyed, their sleep products, if they are formed for some reason, do not go into the material material, but are drawn into the electrical insulation. The mechanism of the formation of the wrapped film is most convenient to observe from the example of the melting of bronze – steel in front of glycine. During the period of operation, the surface heat of the bronze is dissolved. Glycine acts as a weak acid. Atoms of alloying elements of bronze (tin, zinc, iron, aluminum, etc.) go into the paint material, as a result, the surface of bronze is enriched with copper atoms. When atoms of alloying elements leave the surface of bronze, its deformation causes a diffusion flow of new atoms of alloying elements to the surface, which pass into the matrix material, and so on.

**Keywords:** tribotechnical properties, hydraulic system, biological oils, agricultural machinery, wrapping film, selective metal transfer mechanism.