



УДК 631.3-192:662.63

Д.П. Журавель, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

А.М. Бондар, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4761-9084

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

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

## ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ ТРИБОСИСТЕМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СУМІШЕВИХ ОЛИВ

**Анотація.** В статті розглянуто перспективи використання сумішевих олив для мобільних енергетичних засобів. Встановлено, що ефективність змащувального матеріалу визначається, по-перше, конструктивними особливостями вузла тертя, тобто типом, розміром, характером руху поверхонь тертя і т. п. і, по-друге, системою змащування і видом матеріалу, з яким контактує в процесі роботи, а також умовами експлуатації вузла тертя і термінами заміни змащувального матеріалу. Найбільш актуальним напрямком створення нових змащувальних середовищ є використання сумішевих олив мінерального і рослинного походження. Залучення рослинних олив і тваринних жирів, тобто продуктів чисто біосферного походження до складу змащувальних матеріалів слід вважати вельми перспективним. Вони спрямовані на більш ефективне використання продуктів рослинного і тваринного походження в різних областях техніки. Тому використання сумішевих олив з покращеними властивостями є актуальним вирішення питання раціонального використання їх для забезпечення надійної і ефективної роботи мобільної сільськогосподарської техніки.

**Ключові слова:** прогнозування, ресурс, трибосистема, сумішеві оливи, присадки, добавки, надійність, сільськогосподарська техніка.

**Постановка проблеми.** Для поліпшення експлуатаційних властивостей олив і забезпечення надійної роботи машин і механізмів у більшість змащувальних олив вводять спеціальні речовини [1-6]. Органічні оливоорозчинні продукти (понад 100 з'єднань) називають присадками, а тверді нерозчинні речовини неорганічного походження - антифрикційними добавками. Більшість промислових присадок і їх композицій містить у своєму складі кисень, сірку, фосфор, азот, хлор, кальцій, барій, цинк, магній, стронцій і такі функціональні групи, як карбоксильна, гідроксильна, сульфогрупа, дитіофосфатна, аміногрупа,



трихлорметильна і деякі інші. Присадки вводять в оливи в невеликих кількостях - від доль до декількох відсотків (у композиціях їх загальна концентрація складає до 15%), в'язкістні присадки можуть додаватися до 20 - 30% [6]. Хімотологічні і триботехнічні властивості нафтових та біологічних олив істотно відрізняються, тому з метою забезпечення їх оптимального складу необхідно проводити їх змішування в певних пропорціях. Триботехнічні властивості біологічних олив мають кращі властивості [7-10], ніж мінеральні, але поступаються по стійкості до окислення, тому для покращення їх властивостей доцільно вводити до їх складу необхідні багатофункціональні добавки і присадки [11-13].

*Аналіз останніх досліджень.* В даний час добавки до працюючих олив використовуються за наступними варіантами:

- для поліпшення характеристик оливи, наприклад, миючих властивостей, в'язкості (взимку зменшення, влітку збільшення), антифрикційних властивостей;
- для усунення якихось недоліків, пов'язаних із станом агрегату, наприклад підвищений угар оливи, надзвичайне «диміння» або надмірна гучність при роботі;
- для продовження ресурсу вже відпрацьованої оливи або спроби відновити її властивості;
- як профілактичний засіб проти зносу змащувальних деталей;
- як ремонтно - відновлювальний засіб зношених деталей [14-16].

В основному сучасні добавки призначені для роботи з моторними і трансмісійними оливами. Найбільш вивчено (і має масове виробництво) застосування антифрикційних добавок на основі молібдену та його сполук.

Зокрема дисульфід молібдену  $\text{MoS}_2$  має унікальну структуру серед змащувальних матеріалів. Установлено, що високі змащувальні властивості  $\text{MoS}_2$  пояснюються не тільки його фізичними властивостями, але і хімічними реакціями між  $\text{MoS}_2$  і металом. Реакції між  $\text{MoS}_2$  і Fe призводять до утворення сульфідів заліза при температурі  $700^\circ\text{C}$  (зона тертя в циліндрах двигунів), а при більш високих температурах утворюється з'єднання  $\text{MoFeS}_3$ . Як сульфітація заліза, так і утворення  $\text{MoFeS}_3$  сприяє підвищенню зносостійкості плівки. Явище вибіркового переносу полягає в тому, що така плівка утворюється тільки на поверхні пар тертя і можлива тільки при певному поєднанні хімічного складу змащувальних матеріалів і технології обробки сполучених деталей.

Утворена молібденовмісна плівка володіє дуже високими антифрикційними властивостями. На практиці застосовують два способи отримання плівки: створення штучних сполук молібдену, які повністю розчиняються в моторній оливі (таким чином виготовляють препарати «Економін», «Фріктол», «Моліпріз») та застосування



природного з'єднання дисульфиду молібдену (лідером у використанні дисульфиду молібдену є компанія Дау-Кронінг, продукцією цієї компанії користуються провідні фірми - виробники олив і мастил, найбільш відомі її добавки М -55 і Molykote) [6].

Особливе місце серед добавок в моторну оливу займають препарати на основі алмазного пилю. Такі добавки вважаються обкатними, їх застосування допускається не більше одного разу до капітального ремонту двигуна. До складу таких добавок крім алмазного пилю входить також графіт або синтетичний вуглеводень.

Принцип дії добавок на основі алмазного пилю полягає в тому, що частинки алмазного пилю (0,03 ... 0,08 мкм) не призводять до абразивного зносу, а впроваджуються в мікронерівності найбільш напружених ділянок поверхонь тертя, які у зв'язку з цим зміцнюються, природний знос сповільнюється. Чималу роль у цьому процесі відіграють домішки графіту, що містяться в добавці - вони служать свого роду противозадирними елементами. Істотним достоїнством цих добавок є їх хімічна нейтральність і висока температурна стійкість (тисячі градусів). Інші добавки при таких температурах або згорають, утворюючи продукти, що сприяють абразивному зносу, або втрачають свої властивості, або розкладаються на речовини, що негативно впливають на властивості змащувальних матеріалів. З препаратів даного типу найбільш відома добавка «Деста».

Найбільш поширеними добавками для моторних олив є добавки на основі полімерів, зокрема на основі політетрафторетилену (ПТФЕ). Це обумовлено унікальним поєднанням його властивостей: висока пластичність, хімічна і термічна стійкості, високі антифрикційні можливості, особливо при високих питомих навантаженнях. Розрізняють так звані наповнені і ненаповнені фторопласти. Наповнені фторопласти - це композиційні матеріали з наповнювачами з різних м'яких металів (свинцю, олова, срібла, міді), сплавів (бронзи, латуні), сполук (оксид свинцю, дисульфід молібдену) - це металополімери. Як наповнювачі використовують і інші речовини, наприклад, графіт і кераміку. Клас препаратів на основі політетрафторетилену далеко не однорідний. Умови застосування добавок до оливи на основі ПТФЕ обмежується їх температурною стабільністю, вони зберігають свої властивості тільки при температурах від -20 до +200°C, що недостатньо для сучасних високонанвантажених двигунів. До можливих негативних наслідків застосування добавок на основі тефлону слід віднести також можливість закупорки каналів системи змащення.

З відомих вітчизняних препаратів даного типу найбільш розповсюджені «Форум» (Фторорганічний вуглецевий матеріал), «Аспект - модифікатор» і Форсан. Зарубіжні препарати: Engine Treatment Weth Dupont Teflon - добавка на основі тефлону виробництва



американської компанії, Protect - 100 - також американська, на основі тефлону STP- XEP2 та інші. Фірми - виробники стверджують, що добавки є високоефективним засобом для запобігання всіх елементів двигуна від зносу. Про недоліки і обмеження в застосуванні препаратів відомостей немає.

В останні роки широко рекламується застосування добавок, принцип дії яких не розкривається, в приватності американських виробників: Duralube і Energy Release. Duralube в перекладі з англійської - довготривала олива. Вона створена на нафтовій основі, не містить шкідливих компонентів - свинцю, молібдену та інших. До складу Duralube входять поверхневоактивні речовини, що містять іони металів. На поверхні тертя метали відновлюються з іонів до вільного стану. Даний засіб пропонують називати кондиціонером металів. Повідомляється, що препарат містить позитивно заряджені іони, які проникаючи в поверхню металу, створюють шар з «унікальними фізичними властивостями» [6].

Добавка Energy Release в перекладі з англійської - визволитель енергії. Препарат являє собою колоїдний розчин іонів заліза, які в умовах високих температур і тиску взаємодіють з поверхневим шаром металу, заповнюючи «вакансії» його кристалічної решітки. У результаті зменшуються мікросероховатості поверхні тертя.

З російських аналогів відома добавка феном. За даними розробників механізм дії російського феномена полягає в наступному. У зоні тертя сполучених металевих поверхонь за рахунок високих температур і тиску відбувається деструкція мастильного матеріалу з виділенням атомарного водню, що інтенсифікує процес водневого зносу металу. Активні радикали Феномен нейтралізують водень і «утилізують» продукти деструкції мастильних матеріалів, перетворюючи їх на фази вуглецю в алмазоподібний стан, а також формують сервовітний (захисний) шар з атомарно чистого заліза. Таким чином, в зоні тертя на поверхневому шарі металу Феномен формує шарувату структуру, що складається з атомарно чистого заліза і фаз вуглецю в алмазоподібному стані. В результаті тертьові поверхні взаємодіють через м'який і тонкий сервовітний шар, і сполучені деталі відчувають тільки пружні деформації. Це призводить до зниження інтенсивності зношування. За заявами розробників феномен може бути використаний у всіх областях, де присутні пари тертя, сумісний з усіма видами ПММ, пригнічує ефект водневого зношування металу в зоні тертя, уповільнює процес старіння мастильних матеріалів, не горючий і не токсичний .

В цілому, в даний час все розмаїття пропонованих «ринком» добавок до змащувальних матеріалів, призначених безпосередньо для покращення триботехнічних властивостей поверхонь деталей двигунів,



інших агрегатів і вузлів машин можна умовно розділити на наступні класи:

Модифікатори тертя (тефлон, дисульфід молібдену та ін), містять у своєму складі дрібнодисперсні частинки і формують на поверхні тертя деталей захисні плівки, що володіють легким зсувом в площині ковзання, що знижує тертя, але практично не захищає від зношування тертьові пари.

Кондиціонери металу, що впливають безпосередньо на метал тертьових поверхонь деталей, створюють захисний (сервовітний) шар, що знижує тертя і знос і захищає від задирів. Кондиціонери металу типу ER і ФЕНОМЕН та ін., не відновлюють зношені поверхні пар тертя, а формують на поверхнях самовідновлювальну залізну плівку з чистого заліза, товщиною близько  $250\text{Å}$  [11].

Ці препарати не змінюють фізико - хімічні показники моторних і трансмісійних олиव і використовують їх в якості носія для доступу до вузла тертя. Кондиціонери металу забезпечують стійкий протизношений ефект навіть при масляному голодуванні у випадку витoku оливи.

Для автомобілістів вони становлять найбільший інтерес, оскільки дозволяють вирішити два не взаємозалежні між собою завдання: одночасно понизити тертя і знос, тобто за рахунок зниження втрат на тертя і покращити експлуатаційні характеристики мобільної техніки (знижити витрату палива, поліпшити розгінну динаміку і ін.), а за допомогою зменшення зносу суттєво збільшити їх ресурс.

Реметалізанти – ремонтно-відновлювальні складові, що нарощують замість зношеного металу пар тертя машин композиції типу «мідь - свинець - срібло» і т. д., до цього ж класу відносяться ремонтно - відновлювальні складові (РВС), що представляють собою багатокомпонентні дрібнодисперсні системи природних мінералів, здатних утворювати з поверхневим шаром металу в місцях тертя металокерамічний захисний шар (МКЗС) з унікальними властивостями. Препарати цього класу мають певну «спеціалізацію» - відновлювати розміри зношених поверхонь деталей в режимі штатної експлуатації, і використовуються в основному для обробки двигунів з високим ступенем зносу, що становить певний інтерес при використанні препаратів стосовно до ремонту сільськогосподарської техніки. Фізичний знос деталей компенсується утворенням на поверхнях тертя плівок важких металів або металокераміки. Найбільш відомі складові «Рімет», «Хадо», «Lubzifilm», «Motor Doctor» та інші.

РВС-технології - це принципово нові технології відновлення зношених сполучень деталей вузлів і механізмів машин. Вони забезпечують відновлення сполучень в режимі штатної експлуатації, без зупинки і розбірки. РВС-технології дозволяють не тільки



відновлювати зношені сполучення, а й збільшувати зносостійкість поверхонь деталей і їх ресурс, забезпечувати економію ПММ та енергоресурсів.

Продукт (РВС) - це дрібнодисперсна, багатокомпонентна суміш мінералів, добавок, каталізаторів.

Основною сировиною для його виготовлення є геомодифікатори: шунгіт, серпентиніт і нефрит. Розмір часток 1...10 мкм. РВС в оливах не розчиняється, в хімічні реакції з ними не вступає, в'язкість не змінює. Геомодифікатори (РВС) показують найкращі результати в елементах трансмісії. Володіючи високими мастильними, водо- і грязевідштовхуючими властивостями, РВС істотно знижують знос і температуру в зоні тертя, в тому числі у відкритих вузлах, таких, як цепна передача, шарніри карданних валів та ін. За хімічним і фазовим складом вони найчастіше являють собою суміш класичного магнезіально-залізного силікату (змінний  $Mq_6(Si_4O_{10})(OH)_8$ ), що є формою цілого ряду мінеральних руд класу олівінів, кінцевими фазами якого є форстерит  $Mq_2SiO_4$  і фаяліт  $Fe_2SiO_4$ , а також у незначних кількостях кремнезему  $SiO_2$  і доломіту  $CaMq(CO_3)_2$ . При роботі обробленого вузла активні компоненти металокераміки вступають у взаємодію з контактуючими ділянками деталей і формують на цих ділянках металокерамічний шар, який частково відновлює дефекти поверхонь тертя і володіє високими антифрикційними і противозносними властивостями.

Для донесення РВС до поверхні тертя може бути використаний будь-який рідкий носій (масло, гас, спирт, вода та інші). Потрапляючи на поверхню тертя й контакту працюючих механізмів, частинки РВС модифікуються самі і модифікують поверхні в кілька етапів:

- руйнування частинок РВС виступами мікрорельєфів сполучених деталей;
- очищення мікрорельєфу плям контакту сполучених деталей;
- щільна нагартівка частинок РВС в поглибленнях мікрорельєфу контактуючих поверхонь;
- утворення МКЗС (проходження реакції заміщення з утворенням нових кристалів, складових МКЗС).

Отриманий МКЗС не має різкої межі між собою і металом, з яким він утворився. За своєю природою він не чужий металу. Частинки РВС абсорбують атомарний водень, запобігаючи водневе розтріскування. МКЗС має однаковий зі сталлю, з якою він утворився, коефіцієнт лінійного термічного розширення. Коефіцієнт тертя деталей, покритих МКЗС, аномально низький, 0,003...0,007. МКЗС - діелектрик і вогнетривкий. Температура його руйнування - 1500 ... 1600° С. Стійкий до корозії. Може поновлюватися в міру його зношування, проводячи додаткові РВС - обробки.



У Санкт-Петербурзі створена ресурсо - і енергозберігаюча технологія - Синтезатор Металів ФорсанТМ. Цей продукт не є присадкою, сумісний з будь-якими мастильними матеріалами, дозволяє повністю запобігти контакту «метал - метал», синтезуючи в місцях контакту захисний шар, що володіє властивостями металокераміки, відновлює і зміцнює поверхню, зупиняє знос тертьових пар, володіє довговічним ефектом. ФорсанТМ - це складна мінеральна композиція, вводиться між поверхнями тертя за допомогою носія (оливи, фреону, антифризу і т.д.). Синтез металокерамічного захисного шару відбувається за рахунок наявності в ФорсанТМ особливо чистої фуллеренної композиції, яка очищує поверхню тертя і формує на ній МКЗС.

Аналог російського препарату - український «Хадо». Це дрібнодисперсна, багатокомпонентна суміш мінералів з добавками каталізаторів, сумісна з будь-якими видами олив і використовує їх як носій, не є присадкою.

Крім добавок, що впливають на трибологічні властивості системи змащення, є спеціальні добавки, які призначені покращувати миючі властивості олив, відновлювати властивості стандартного пакета присадок олив, наприклад реаніматори в'язкості і термічної стійкості моторної оливи.

Миючі добавки виготовляються двох типів:

- для регулярного використання перед кожною заміною оливи. Такі композиції містять компоненти, які не тільки видаляють шлак і осадки, але і нейтралізують кислоти і зменшують знос;
- найбільшою зручністю в застосуванні володіють добавки - промивки, що отримали назву «п'ятихвилинок». Після заливки препарату в оливу промивка триває від 5 до 20 хв.

Останнім часом спостерігається комплексний підхід до створення добавок. До їх складу входять, як правило, миючі, антифрикційні, що підвищують в'язкість, антикорозійні з'єднання, а також детергенти, які запобігають відкладанню і дисперсанти, які підтримують продукти згоряння в підвішеному стані. Для різних типів олив і змащувальних систем розроблені і різні види добавок. Новим у цьому напрямку вважається розробка добавок з використанням принципів нанотехнології, тобто речовини (добавки) містять у своєму складі активні функціональні наноматеріали, наночастинки або формують на поверхні тертя захисні наноструктурні шари, що запобігають зносу деталей.

Однак, для введення до товарної оливи добавок і присадок необхідне дороге спеціальне обладнання. Окрім цього не всі присадки сумісні між собою, що може призвести в одному випадку до ефекту - синергізму, а іншому до ефекту - антагонізму. Виходячи із



літературних джерел, відомо, що мінеральні і біологічні оливи добре змішуються. Тому необхідно провести триботехнічні дослідження по встановленні відсоткового співвідношення біологічної і мінеральної олив та визначити оптимальний склад багатофункціональної присадки, яка відповідала умовам роботи гідросистем [17-20].

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є дослідження триботехнічних властивостей сумішевих рідин для прогнозування ресурсу вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки.

*Основна частина.* Триботехнічні дослідження проводили на машині тертя СМЦ-2 (рис.1), моменти тертя вимірювали за допомогою маятникового динамометра. Втрати на тертя в кінематичному ланцюзі установки СМЦ-2, при випробуванні за схемою «ролик-ролик», виключали почерговим виміром моментів на випереджаючому і відстаючому роликах після їх припрацювання.

Коефіцієнти тертя при випробуваннях визначали по формулі:

$$f = \frac{0,5 \cdot (M_{T.\text{вип}} + M_{T.\text{від}})}{Q \cdot R}, \quad (1)$$

де  $(M_{T.\text{вип}} + M_{T.\text{від}})$  - моменти тертя, виміряні відповідно на випереджаючому і відстаючому роликах;

Q - навантаження на ролик;

R - радіус ролика, на якому вимірювали момент тертя.

Моменти тертя  $M_{T.\text{вип}} + M_{T.\text{від}}$  визначали як середнє арифметичне трьох послідовно виміряних значень моментів тертя при ступінчастому збільшенні і ступінчастому зменшенні навантаження. Таким чином, розрахунковий момент тертя для визначення коефіцієнта тертя отримували за результатами шести послідовних вимірів моментів тертя, що дозволяло з високою мірою точності виключати з вимірюваних моментів тертя моменти втрат в кінематичному ланцюзі установки СМЦ-2 і, отже, визначати достовірні значення коефіцієнта тертя в контакті.

Для виключення втрат на тертя в кінематичному ланцюзі установки СМЦ-2 при випробуванні за схемою «ролик-ролик» коефіцієнти тертя визначали по формулі:

$$f = \frac{(M_T - |\Delta M_T^1|)}{Q \cdot R}, \quad (2)$$

де  $M_T'$  - момент тертя, виміряний на випробовуваному ролику;



$\Delta M_{T'}$  - момент втрат на тертя в кінематичному ланцюзі роликів випробувальної установки.

Момент втрат на тертя в кінематичному ланцюзі установки визначали по формулі:

$$\Delta M_T^1 = 0,5(M_{T.вип}^1 - M_{T.від}^1), \quad (3)$$

де  $(M_{T.вип}^1 - M_{T.від}^1)$  - момент тертя, виміряний відповідно на випереджаючому і відстаючому роликах. Моменти тертя  $(M_{T.вип}^1 - M_{T.від}^1)$  заміряють по черзі при випробуванні за схемою «ролик-ролик» при таких же значеннях питомих навантажень і окружних швидкостях, які реалізуються для ролика.

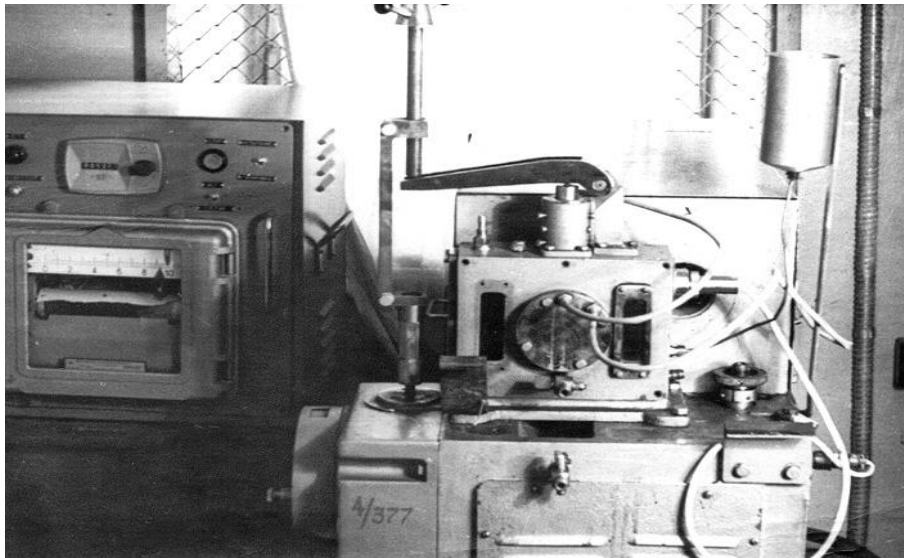


Рисунок 1. Загальний вигляд машини тертя СМЦ-2 системи «ролик-ролик»

Проведені дослідження дозволили встановити основні параметри, що впливають на коефіцієнт тертя, це швидкість відносного переміщення, контактне напруження в сполученні і кількість присадки.

Одним із основних параметрів, є швидкість відносного переміщення -  $V$  (X1). Швидкість відносного переміщення знаходилась в діапазоні від 0,48 до 3,37 м/с.

Величина коефіцієнта тертя залежить від контактної напруженості -  $\sigma$  (X2). Контактне напруження змінювалось від 250 до 570 МПа. Крім того, на величину коефіцієнта зносу впливає кількість присадки -  $Q$  (X3), яка змінювалась в межах 2...10%.

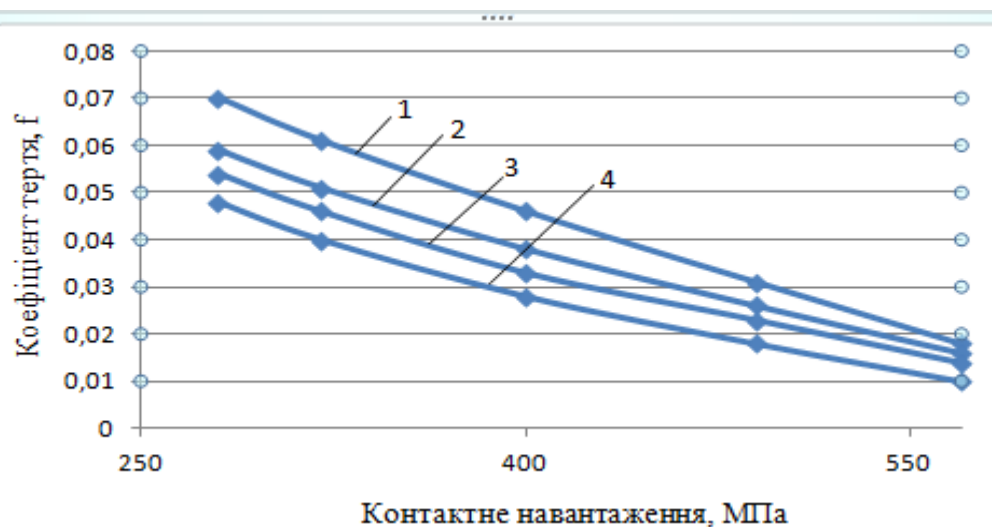
Обробка експериментальних даних проводилась за стандартною програмою MatLab на комп'ютері з використанням коефіцієнтів регресії, рівнів достовірності та критеріїв Стьюдента.

Математична модель має вид (використовуються тільки значимі коефіцієнти  $B_{ij}$ ):

$$Y = 0,02525 - 0,00225 X_1 - 0,00225 X_2 - 0,0015 X_3 + 0,00275 X_1 X_2$$

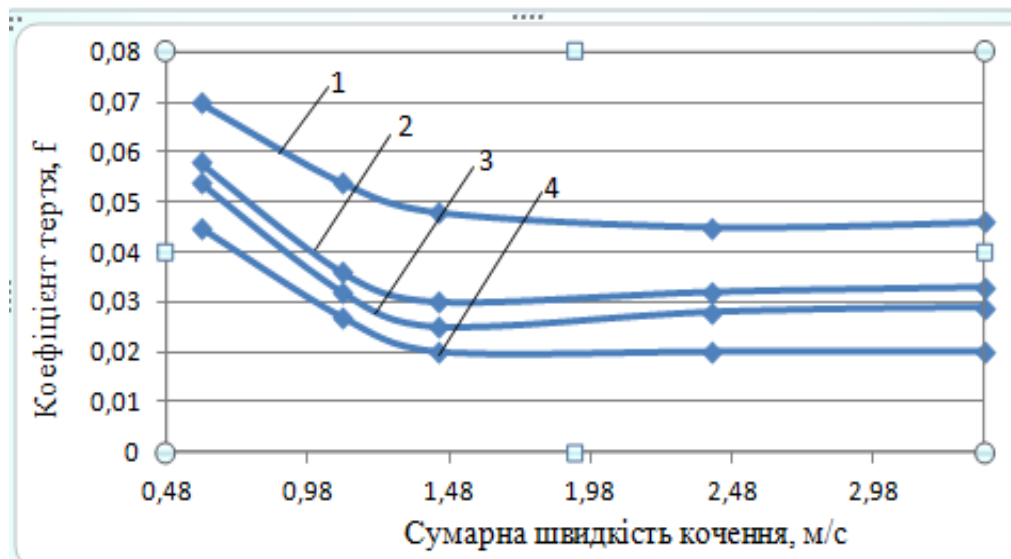
З рівняння регресії видно, що найбільший вплив на коефіцієнт тертя відіграє швидкість відносного переміщення і контактне напруження. Найменший вплив на коефіцієнт тертя відіграє кількість присадки в оливи.

Детермінуючи контактний тиск ( $X_2$ ), по трьох рівнях варіювання, отримані залежності коефіцієнта тертя від швидкості відносного переміщення ( $X_1$ ) і кількості присадки в оливі ( $X_3$ ). Графічні залежності для мінеральних олив і сумішевих олив (40% мінеральної M10B<sub>2</sub> і 60% ріпакової оливи (PO)) наведені на рисунках 2-8.



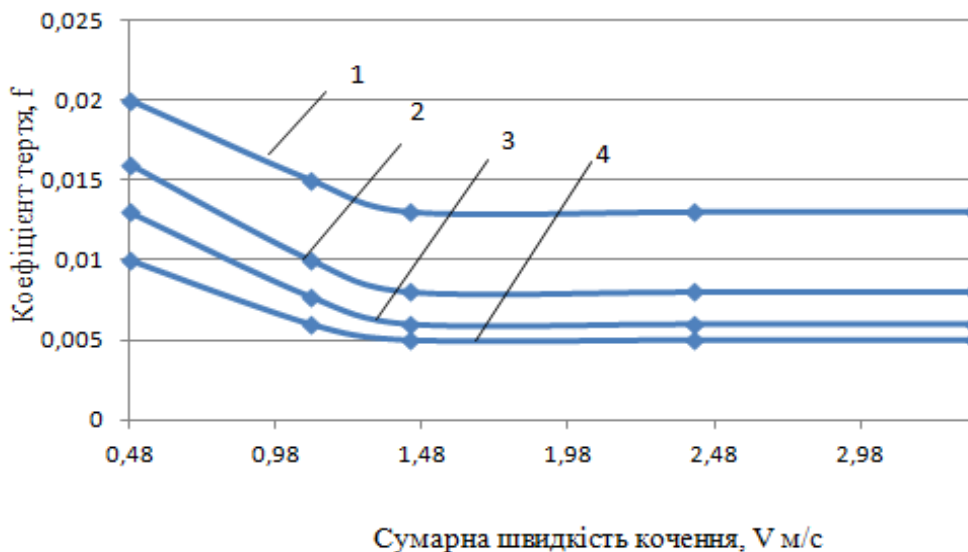
1 - олива мінеральна M10B<sub>2</sub> при 16<sup>0</sup> C; 2 - олива мінеральна M10B<sub>2</sub> при 70<sup>0</sup> C; 3 - суміш (40% PO і 60% M10B<sub>2</sub>) при 16<sup>0</sup> C; 4 - суміш (40% PO і 60% M10B<sub>2</sub>) при 70<sup>0</sup> C

Рисунок 2. Залежність коефіцієнтів тертя  $f$  від контактного навантаження



1 - олива мінеральна M10B<sub>2</sub> при 16<sup>0</sup> С; 2 - олива мінеральна M10B<sub>2</sub> при 70<sup>0</sup> С; 3 - суміш (40% РО і 60% M10B<sub>2</sub>) при 16<sup>0</sup> С; 4 - суміш (40% РО і 60% M10B<sub>2</sub>) при 70<sup>0</sup> С

Рисунок 3. Залежність коефіцієнтів тертя  $f$  від сумарної швидкості кочення і температури при контактному навантаженні 250 МПа



1 - олива мінеральна M10B<sub>2</sub> при 16<sup>0</sup> С; 2 - олива мінеральна M10B<sub>2</sub> при 70<sup>0</sup> С; 3 - суміш (40% РО і 60% M10B<sub>2</sub>) при 16<sup>0</sup> С; 4 - суміш (40% РО і 60% M10B<sub>2</sub>) при 70<sup>0</sup> С

Рисунок 4. Залежність коефіцієнтів тертя  $f$  від сумарної швидкості кочення і температури при контактному навантаженні 570 МПа

Залежності коефіцієнтів тертя від кількості присадки в оливі, контактному навантаженню трибоспряжень і швидкості відносного переміщення наведені на рис. 5-7.

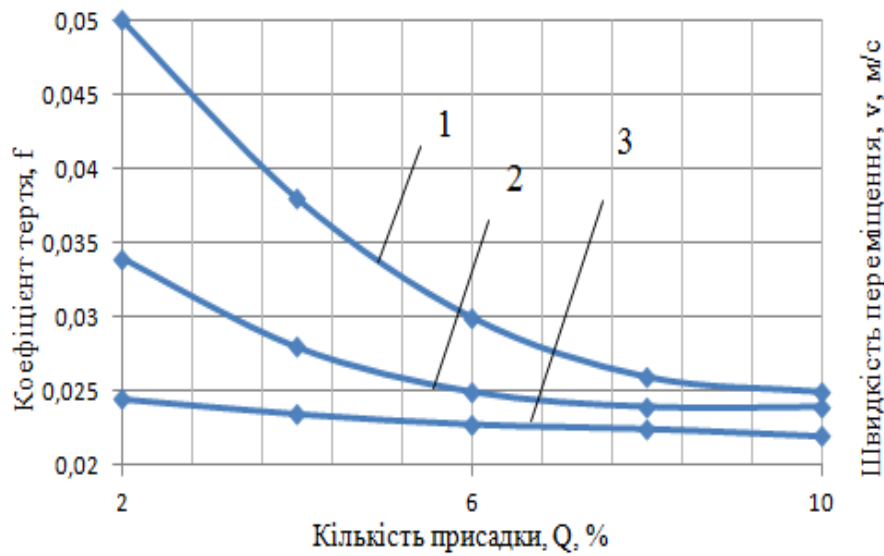


Рисунок 5. Залежність коефіцієнтів тертя  $f$  від кількості присадки в оливі  $Q$ , швидкості відносного переміщення  $V$  при контактному навантаженні 250 МПа

Швидкість відносного переміщення: 1 - 0,48 м/с; 2 - 1,44 м/с; 3 - 3,37 м/с

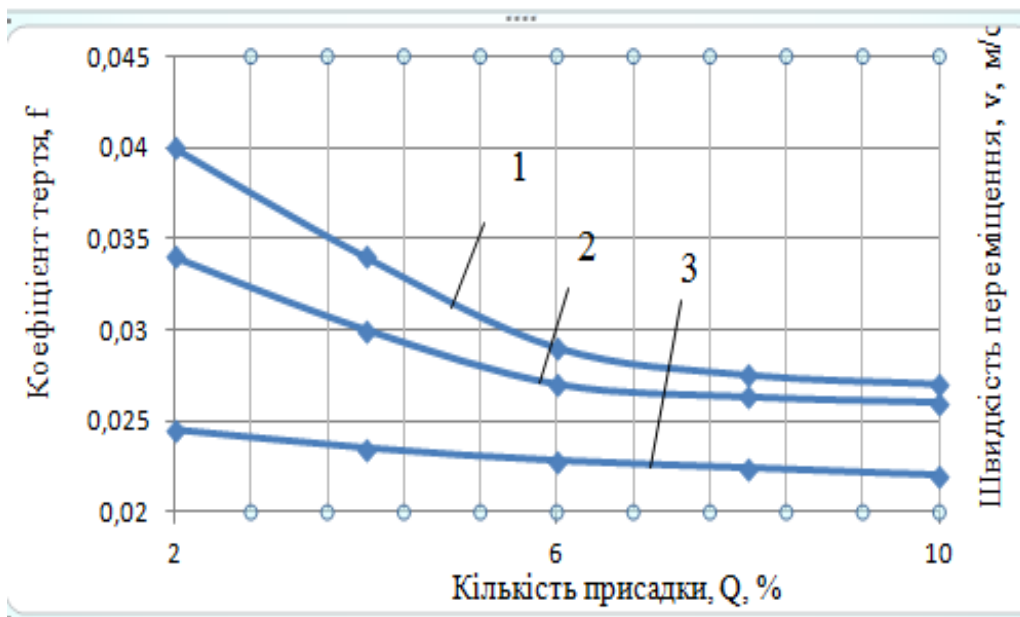


Рисунок 6. Залежність коефіцієнтів тертя  $f$  від кількості присадки в оливі  $Q$ , швидкості відносного переміщення  $V$  при контактному навантаженні 410 МПа

Швидкість відносного переміщення: 1 - 0,48 м/с; 2 - 1,44 м/с; 3 - 3,37 м/с

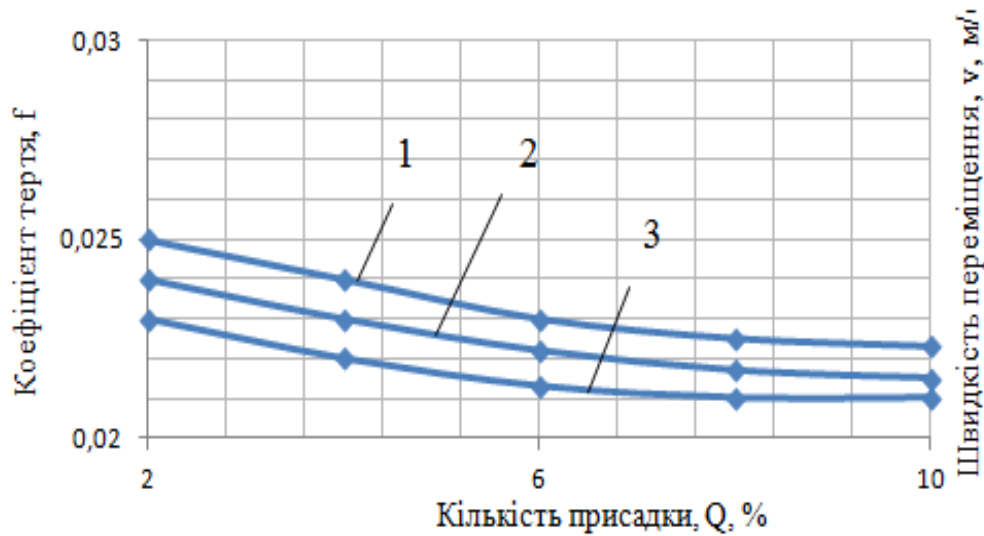


Рисунок 7. Залежність коефіцієнтів тертя  $f$  від кількості присадки в оливі  $Q$ , швидкості відносного переміщення  $V$  при контактному навантаженні 570 МПа

Швидкість відносного переміщення: 1 - 0,48 м/с; 2 - 1,44 м/с; 3 - 3,37 м/с

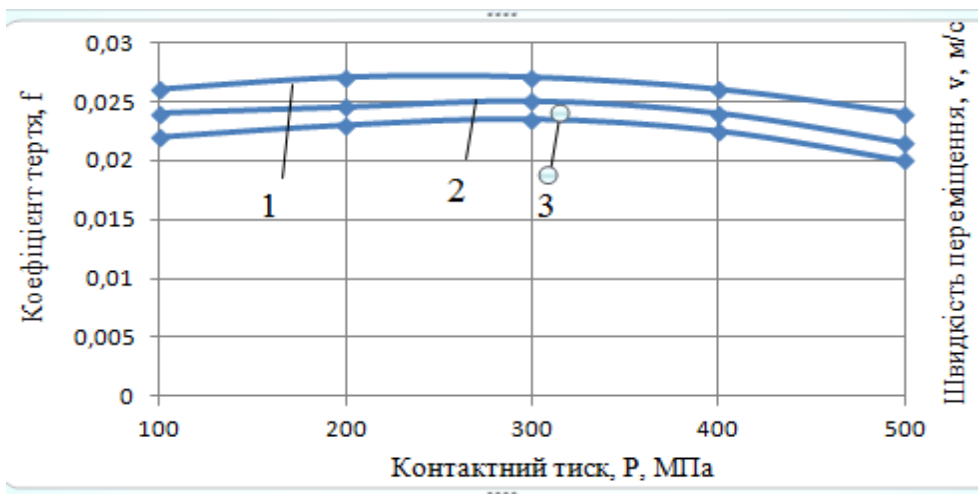


Рисунок 8. Залежність коефіцієнтів тертя  $f$  від контактного навантаження  $P$  і швидкості відносного переміщення  $V$  при кількості присадки в оливі  $Q = 6...8$  %

Швидкість відносного переміщення: 1 - 0,48 м/с; 2 - 1,44 м/с; 3 - 3,37 м/с

В якості матеріалу зразків пар тертя в усіх випробування використовувалася конструкційна сталь 18ХГТ по ГОСТ 4543-81.

Режим навантаження і швидкісного для усіх випробувань відповідав умовам роботи гідросистем сільськогосподарської техніки.



Партії зразків, виготовлялись за єдиною технологією з розмірами і параметрами шорсткості в межах, встановлених допуском і піддавалися контрольному аналізу. Визначалася їх твердість, мікротвердість поверхневих шарів на глибину не менше 0,03 мм.

Результати контрольного аналізу заносили в протокол випробувань.

При випробуваннях зносу на машині тертя СМЦ - 2 фіксувалася температура в зоні зношування за допомогою термопари "ХК" і потенціометра ПСМГ - 0,1 і записували силу тертя.

Сумарний знос у будь-якому сполученні є функцією часу напрацювання:

$$U = \varphi(T). \quad (4)$$

Коефіцієнт тертя теж є функцією часу напрацювання:

$$f = \varphi(T). \quad (5)$$

Тому, сумарний знос в сполученні вал-втулка також є функцією коефіцієнта тертя  $U = \varphi(f)$ .

Трибологічні властивості матеріалів в процесі зношування визначаються коефіцієнтом зносу, який є функцією швидкісних, силових і конструктивних особливостей сполучення. Коефіцієнт зносу матеріалів описується залежністю:

$$K_U = \frac{[U]_{gp}}{V \cdot T \cdot P}, \frac{мкм}{Па \cdot км} \quad (6)$$

де  $[U]_{gp}$  - граничний знос сполучення, мкм;  $V$  - швидкість переміщення, км/год;  $T$  - час напрацювання, год.;  $P$  - питомий тиск, Па.

З даного рівняння, час напрацювання сполучення до граничного зносу, буде мати вид:

$$T = \frac{[U]_{gp}}{V \cdot P \cdot K_U}, \text{ год.} \quad (7)$$

Номограма залежності сумарного зносу від коефіцієнтів тертя і контактної навантаження в сполученні наведені на рис. 9.

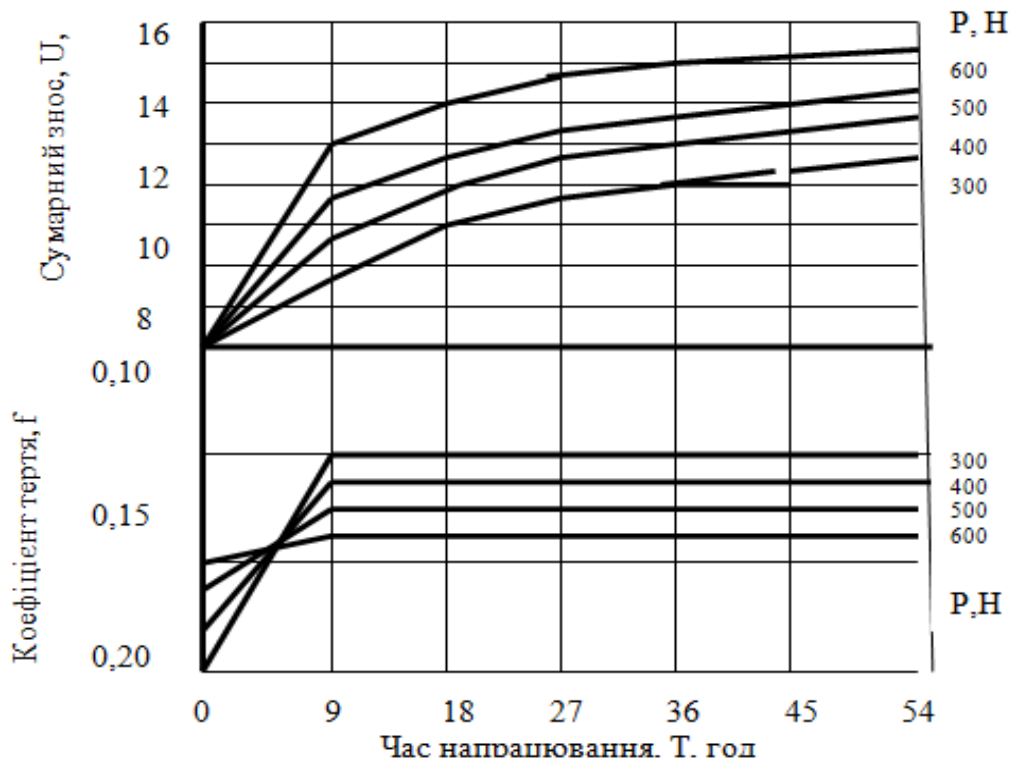
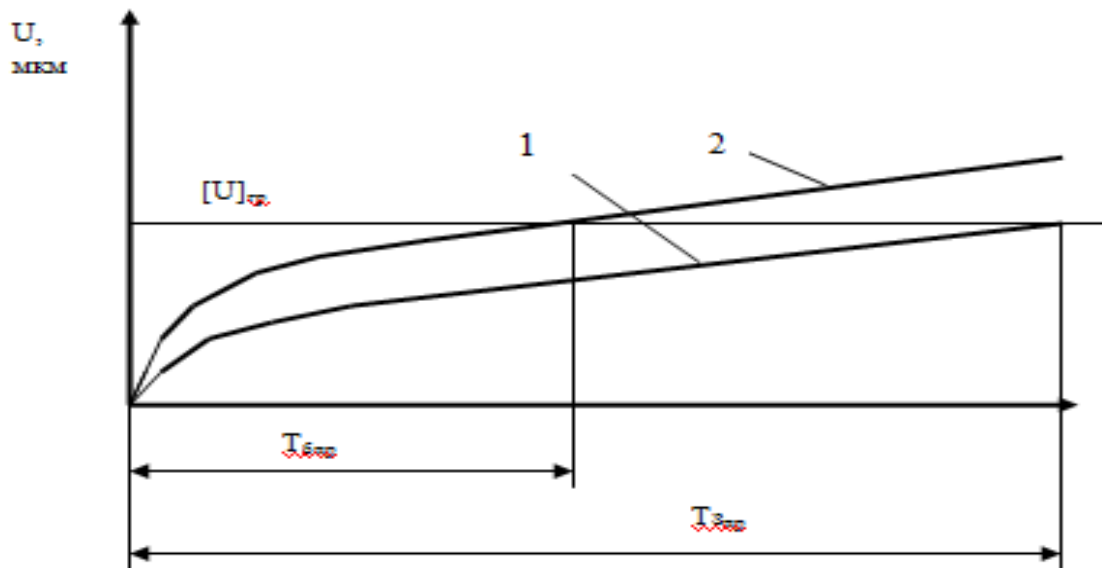


Рисунок 9. Номограма залежності сумарного зносу від коефіцієнтів тертя і контактного навантаження в сполученні

Зміна термінів напрацювання сполучення на сумішевих оливах без присадки і з присадкою наведені на рисунку 10.



1 - з присадкою, 2 - без присадки.

Рисунок 10. Визначення термінів напрацювання сполучення залежно від змащувальних матеріалів



*Висновки.* В результаті проведених досліджень встановлено, що:

1. Одними із основних параметрів, що визначають коефіцієнт тертя деталей сполучення є контактний тиск, швидкість відносного переміщення деталей і кількість присадки в оливі.

2. Оптимальний вміст присадки SMT 2514 в оливу, для забезпечення мінімального коефіцієнта тертя, повинен складати в межах 6...8%.

3. Найкращі триботехнічні характеристики спостерігаються при швидкостях відносного переміщення  $V=1,5...2,0$  м/с і при контактному тиску  $P=250...300$  МПа.

Список використаних джерел

1. Мороз Н. Н. Структурний аналіз надійності зерноуборочного комбайна. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кіровоград, 2006. Вип. 36. С. 94-100.

2. Diagnostics of Engine oil of Internal Combustion Engine by Electrophysical Method of Control / A. G. Vozmilov et al. *Proceedings - 2018 Global Smart Industry Conference, GloSIC3*. 2018. 8570137. DOI: 10.1109/GloSIC.2018.8570137.

3. Wolak A., Zajac G. Cold cranking viscosity of used synthetic oils originating from vehicles operated under similar driving conditions. *Advances in Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 10, № 11. DOI: 10.1177/1687814018808684.

4. Ishizaki K., Nakano M. Reduction of CO<sub>2</sub> emissions and cost analysis of ultra-low viscosity engine oil. *Lubricants*. 2018. Vol. 6, № 4. 102. DOI: 10.3390/lubricants6040102.

5. Stan C., Andreescu C., Toma M. Some aspects of the regeneration of used motor oil. *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 22. P. 709-713. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.03.102.

6. Ostrikov V. V., Vigdorovich V. I., Safonov V. V., Kartoshkin A. P. Development of a Technological Process and Composition of Flushing Oil for Diesel Engines. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2018. Vol. 54, № 1. P. 24-28.

7. Журавель Д. П. Особливості використання олив біологічного походження для мобільної техніки. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. 2014. Вип. 2. С. 157-165.

8. Журавель Д. П. Раціональне використання біологічних олив для мобільних енергетичних засобів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-9.

9. Журавель Д. П. Методологія оцінки надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах





паливо-мастильних матеріалів. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2016. Вип. 10/3(31). С. 66-71.

10. Дідур В. А., Журавель Д. П. Надежность мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биологических топливо-смазочных материалов *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. 2016. Вип. 251. С. 69-78.

11. Кідалов О. О. Покращення триботехнічних властивостей змащувальних оливок для мобільної техніки. *Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., (м. Мелітополь, 14-25 квітня 2016 року)*. Мелітополь, 2016. С. 126-128.

11. Sigaeva D. M., Akhmetov I. V., Uzyanbaev R. M., Gubaydullin I. M. Mathematical model of the production of highly purified stable oils with ultra-high viscosity index. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1096, № 1. 012195. DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012195.

12. Gryazin V., Bagautdinov I., Kozlov K., Belogusev V. Tool for quality control of lubricants. *Engineering for Rural Development*. 2018. Vol. 17. P. 943-947. DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N411.

13. Petukhov S. A., Kurmanova L. S., Erzamaev M. P. Transport diesels oil system operation efficiency increase. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. Vol. 2 (434). P. 79-85.

14. Wolak A., Zajac G. Changes in the operating characteristics of engine oils: A comparison of the results obtained with the use of two automatic devices. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2018. Vol. 113. P. 53-61. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.08.037.

15. Motamen Salehi F., Morina A., Neville A. Zinc Dialkyldithiophosphate Additive Adsorption on Carbon Black Particles. *Tribology Letters*. 2018. Vol. 66, № 3. 118. DOI: 10.1007/s11249-018-1070-6.

16. Alie A., Darwito P. A. Improve of engine oil lifetime by using additional filter A case study at PT Vale Indonesia TBK. *AIP Conference Proceedings*. 2019. 2088. 020004. DOI: 10.1063/1.5095256.

17. Wolak A. Changes in Lubricant Properties of Used Synthetic Oils Based on the Total Acid Number. *Measurement and Control*. 2018. Vol. 51, № 1. P. 65-72. DOI: 10.1177/0020294018770916.

18. A review of the performance and emission characteristics of a stationary diesel engine fueled by schleicheraoleosa oil methyl ester (Some), blends of neem biodiesel, Rice bran biodiesel, palm and palm Kernel oil, Jatropha oil / A. P. Senthil Kumar et al. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. 2019. Vol. 9 (Special Issue 2). P. 857-861.



19. Emima Y., Rajesh M., Rao K. S. Experimental investigation on performance and exhaust emission characteristics of diesel engine using eesame blends with diesel and additive. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 8, № 1. P. 6-11.

20. Nagy A. L., Knaup J., Zsoldos I. A friction and wear study of laboratory aged engine oil in the presence of diesel fuel and oxymethylene ether. *Tribology - Materials, Surfaces and Interfaces*. 2019. Vol. 13, № 1. P. 20-30. DOI: 10.1080/17515831.2018.1558026.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2021р.

**D. Zhuravel, A. Bondar**  
**Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university**

### **FORECASTING TRIBOSIS RESOURCES FOR USE OF MIXTURAL OILS**

#### **Summary**

The article discusses the prospects for the use of mixed oils for mobile energy vehicles. Units and aggregates of functional systems of mobile agricultural machinery are often operated under extreme conditions where the lubrication efficiency can not be achieved by the use of hydrocarbon oils. Only complex synthetic or biological oils with improved properties can have a complex combination of required properties, that is, slight changes in viscosity, high lubricating properties over a wide temperature range, chemical stability, resistance to aging and oxidation. The promising direction of creating new lubricant compositions is the use of alternative types of vegetable base oils, in particular rapeseed oil. The rapeseed oil contains triglycerides, esters and fatty acids: palmitic, stearic, oleic, linolenic, erucic and others, which increase the lubricating ability of the oil under conditions of extreme friction due to the firm adhesion to the metal surface, prevents direct contact with the friction pair. In addition, lubricants should not be biodegraded, do not change their storage and regeneration properties, are easy to transport and do not cause environmental pollution. The structure of the limiting lubricant layers is determined by the physical and chemical properties of the molecules that form the films, and the state and nature of the solid surface. Surfaces may be formed from the lubricant by adsorption, chemisorption or tribochemical reactions. Strong adsorption layers on metals form surface-active substances: fatty acids, their alcohols and esters, animal and vegetable fats, amides, amines and their derivatives of biological oils. Since the formation of films occurs according to the adsorption laws, it depends on the concentration of polar substances in the lubricant and temperature. The efficiency of the lubricant is determined, firstly, by the structural features of the friction unit, that is, the type, size, nature of the motion of the surfaces of friction, and the like. and, secondly, the lubrication system and the type of material that is contacted during the operation, as well as the operating conditions of the friction unit and the dates of the replacement of the lubricant. Therefore, the use of mixing oils with improved properties is an urgent solution to the issue of rational use of them to ensure reliable and efficient work of mobile agricultural machinery.

**Key words:** forecasting, resource, tribosystems, mixed oils, additives, reliability, agricultural machinery.



**Д.П. Журавель, А.Н. Бондарь**  
**Таврический государственный агротехнологический университет имени**  
**Дмитрия Моторного**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ТРИБОСИСТЕМ ПРИ**  
**ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМЕСЕВЫХ МАСЕЛ**

*Аннотация*

В статье рассмотрены перспективы использования смесевых масел для мобильных энергетических средств. Установлено, что эффективность смазочного материала определяется, во-первых, конструктивными особенностями узла трения, то есть типом, размером, характером движения поверхностей трения и т.п. и, во-вторых, системой смазки и видом материала, с которым контактирует в процессе работы, а также условиями эксплуатации узла трения и сроками замены смазочного материала. Наиболее актуальным направлением создания новых смазочных сред является использование смесевых масел минерального и растительного происхождения. Привлечение растительных масел и животных жиров, то есть продуктов чисто биосферного происхождения в состав смазочных материалов следует считать весьма перспективным. Они направлены на более эффективное использование продуктов растительного и животного происхождения в различных областях техники. Поэтому использование смесевых масел с улучшенными свойствами является актуальным решением вопроса рационального использования их для обеспечения надежной и эффективной работы мобильной сельскохозяйственной техники.

**Ключевые слова:** прогнозирование, ресурс, трибосистемы, смесевые масла, присадки, надежность, сельскохозяйственная техника.