

УДК. 631.3.004:621.892

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТРИБОСИСТЕМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДОБАВОК

Журавель Д.П., д.т.н.

Копосов А.Д., магістр

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.

**Постановка проблеми.** Однією з найважливіших проблем сучасного етапу розвитку техніки є проблема підвищення надійності машин та обладнання. Вона відіграє велику роль в економії металів, трудових витрат і підвищенні ефективності виробництва. Основою для вирішення даної проблеми є підвищення зносостійкості деталей та конструкцій, що працюють в різноманітних умовах експлуатації. Одним із основних способів підвищення довговічності машин та обладнання є введення в склад змащувальних матеріалів спеціальних добавок, які дозволять покращити триботехнічні властивості вузлів тертя.

**Основні матеріали дослідження.** Якість та регулярність заміни моторних оливок, відповідність їх сорту конкретному агрегату, умови експлуатації – все це відіграє суттєву роль у забезпеченні довговічної і надійної роботи агрегатів.

Достатня увага до триботехніки, особливо на початкових стадіях проведення наукових досліджень, могла б дати економію від 1,3% до 1,6% валового національного доходу. І найважливіше, що перші 20% такої економії можна отримати без значних капіталовкладень [1-3].

В основному сучасні добавки призначені для роботи з моторними і трансмісійними оливами (рис.1).



Рис. 1. Сучасні моторні і трансмісійні оливи

У технічній літературі і стандартах немає чітких визначень у використанні термінів «добавка» або «присадка» до змащувальної оливи [4-8]. Зазвичай органічні оливоорозчинні продукти називають присадками.

Тверді нерозчинні речовини, як правило, неорганічного походження називають антифрикційними добавками. Але цим же терміном «добавка» називають, наприклад, компоненти, що вносяться до оливи для поліпшення їх миючих властивостей, які добре розчиняються в них, і їх називають миючі добавки (а не присадки) [9]. Тому під загальним терміном «добавка» розуміється сполука або комплекс сполук, що вносяться до оливи на стадії їх експлуатації (рис.2).



**Рис. 2. Сучасні добавки і присадки до змащувальних матеріалів**

В даний час добавки до оливи використовуються за наступними варіантами [1,2]:

- для поліпшення характеристик оливи, наприклад, миючих властивостей, в'язкості (взимку зменшення, влітку збільшення), антифрикційних властивостей і т. д.;
- для усунення 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.

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. Встановлено, 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 партертя 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 M-55 і Molykote) (рис.3).



**Рис. 3. Антифрикційна добавка на основі молібдену**

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 згоряють, 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» (рис.4).

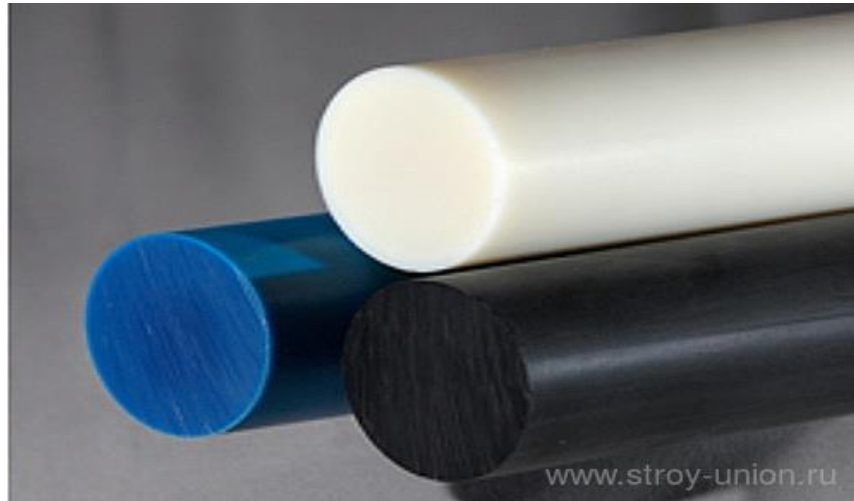


**Рис. 4. Препарати на основі алмазного пилу**

Найбільш поширеними добавками для моторних оливо 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  $+200^{\circ}\text{C}$ , що недостатньо для сучасних високонавантажених 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 (рис.5).





**Рис. 5. Триботехнічні матеріали на основі полімерів**

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 поверхнево-активні 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».

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 сервовитний (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 сервовитний 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 паливо-мастильних матеріалів, 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 (сервовитний) 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 250А.

Ці препарати не змінюють фізико - хімічні показники моторних і трансмісійних оливо і використовують їх в якості носія для доступу до вузла тертя. Кондиціонери металу забезпечують стійкий противозносний 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 та ін.), а за допомогою зменшення зносу суттєво збільшити їх ресурс.

Реметаллізанти – 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 багатокomпонентні 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 сіль-

ськогосподарської 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 брудовідштовхувачими 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 магнезійно - 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 нагартовка 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 фуллереної композиції, яка очищує поверхню тертя і формує на ній МКЗС.

Аналог російського препарату - український «Хадо». Це дрібнодисперсна, багатоконпонентна 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 (рис.6).





**Рис. 5. Протизносні та протизадирні добавки**

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 оливи та визначити оптимальний склад багатофункціональної присадки, яка відповідала умовам роботи гідросистем.

Використання триботехнічних матеріалів (добавок) до оливи дасть змогу:

1. При виготовленні машин економити метал (15...29%) за рахунок більшої вантажопідйомності (в 1,5...2 рази) пар тертя.
2. Збільшити термін роботи машини (в 2 рази), скоротити період припрацювання двигунів (в 3 рази) і редукторів (в 10 раз), відповідно скоротити витрати електроенергії.
3. В підшипниках кочення і ковзання зменшити витрати змащувальних матеріалів (до 2 разів).
4. Підвищити ККД глобoidних редукторів з 0,7 до 0,85, гвинтової пари з 0,25 до 0,5.
5. Збільшити економію дорогостоячих металів (у 2...3 рази) за рахунок забезпечення надійності пар тертя.

**Список використаних джерел**

1. Журавель Д.П., Новік О.Ю., Бондар А.М., Петренко К.Г. Триботехніка. Курс лекцій з навчальної дисципліни для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 280 с.

2. Журавель Д.П. Моделювання процесів зміни кількісних і якісних показників моторних масел при їх використанні. *Праці ТДАТА*. Вип.2, т.14. Мелітополь, 2000. С. 37-40.

3. Дидур В. А., Журавель Д.П. Надежность мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биологических топливо-смазочных материалов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / НУБіП ; відп. ред. Д. О. Мельничук. К., 2016. № 251. С. 69-78.

4. Журавель Д. П. Методологія оцінки надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів. Вісник Сумського національного аграрного університету / СНАУ. Суми, 2016. Вип. 10/3(31). С.66-71.

5. Журавель Д. П. Методологія забезпечення надійності мобільної техніки при використанні біологічних ТСМ. Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України: матер. VI Міжнар. наук.-техн. конф. / ТДАТУ. Мелітополь, 2015. С. 8-10.

6. Журавель Д. П. Забезпечення надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів. Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник тез доповідей XVII міжнародної наукової конференції / СНАУ. Суми, 2016. С. 163-164.

7. Журавель Д. П. Моделирование триботехнических процессов в сопряжениях автотракторных двигателей. Отраслевое машиностроение. *Труды ТДАТА*. Вип. 1, т.6. Мелітополь, 1998. С. 38-43.

8. Журавель Д. П. Метод оценки состояния триботехнических свойств моторных масел. Отраслевое машиностроение. *Труды ТДАТА*. Вип.1, т.13. Мелітополь, 1999. С. 65-67.

9. Журавель Д. П. Методологія підвищення надійності сільськогосподарської техніки при використанні біопально-мастильних матеріалів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Тавр. держ. агротехнол. ун-т. Мелітополь, 2018. 44 с.