

ДИЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ЗМІН ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЛИВ ТРАНСМІСІЙ НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
yozh@nung.edu.ua

На прикладі відібраних олив продемонстровано суперечність результатів загальноприйнятих методик досліджень і критично розглянуто можливість їх використання як критеріїв оцінювання експлуатаційної придатності мастильних олив. Як альтернативний показник ступеня старіння олив запропоновано використовувати діелектричну проникність у змінному електричному полі. Наведено перші результати досліджень.

Вступ. Установлення технічно правильних і економічно доцільних термінів експлуатації оливи є одним з найважливіших питань застосування мастильних матеріалів. В Україні ці проблеми набули особливої актуальності. Ринковий попит на нафтопродукти привів до зміни діючої виробничої структури підприємств, структури імпорту-експорту, асортименту продукції і систем її реалізації. Загальний асортимент авіаційних, моторних, трансмісійних, гідравлічних, турбінних, компресорних, електроізоляційних та інших олив, що виробляються на українських підприємствах, налічує понад 200 найменувань, у тому числі моторних і трансмісійних олив – більше за 65. Разом з цим спостерігається значне збільшення обсягів мастильних матеріалів з-за кордону як з ринків СНД, так і західних. Таке надходження імпортних мастильних матеріалів зумовлено передусім тим, що вітчизняні потужності нафтопереробних заводів дозволяють забезпечити Україну мастильними олівами лише на 44%. За різними експертними оцінками в Україні в найближчі роки можна очікувати попит мастильних олив до 900 тис. тонн на рік, а потреба, зокрема, в трансмісійних олівах сягає не менше 50000 тонн. В умовах такого великого розмаїття асортименту ще гостріше постають питання відповідності мастильних матеріалів різного виробництва, вибір мастильних матеріалів щодо співвідношення якості та

вартості, а також установлення оптимальних термінів експлуатації олив. Щодо їх здатності задовольняти визначені експлуатаційні вимоги в різних умовах застосування.

Постановка завдання. Установлення оптимальних термінів експлуатації мастильних матеріалів є не тільки надзвичайно важливим, але й складним, комплексним завданням, вирішення якого має одночасно задовольняти як експлуатаційно-технологічні умови, метою яких є забезпечення надійності роботи змащуваних машин і механізмів, так і економічні умови, що полягають у виборі раціонального підходу до вибору та витрати олив. Тому вибір параметрів, що дозволяють характеризувати перебігу протікання процесу старіння оливи під час роботи обладнання і оцінити стан олив становить значний практичний інтерес.

Результати досліджень та їх аналіз. Авторами були проаналізовані загальновідомі стандартні методики визначення якості мастильних олив.

На практиці старіння мастильних олив часто оцінюють за зміною їх реологічних властивостей, які визначають відповідно до прийнятих стандартів за допомогою вимірювання в'язкості за різних температур, в залежності від призначення олив. Проте якщо термохімічні явища процесу старіння призводять, до зростання в'язкості олив, то дія палив, які розбавлені в моторних оливах, або механодеструкція в трансмісійних оливах знижують їх в'язкість. Таким чином, зміни в'язкості оливи в процесі експлуатації визначаються різнодійними комплексними чинниками, і не можливі випадки, коли в'язкість відпрацьованої оливи дорівнює її вихідному значенню, проте тоді ігноруються зміни хімічного і фракційного складів у процесі старіння; одночасно змінюються умови гідро- й еластогідродинамічного режиму змащування, незважаючи на те, що визначена в лабораторних умовах стандартизована в'язкість аналогічна або близька до в'язкості свіжої оливи.

У межах дослідницької програми на базі «Радомської Політехніки» (м. Радом, Польща) автори для кількох довільно відібраних олив з різноманітним напрацюванням визначили в'язкість за допомогою різних віскозиметрів. Результати наведено в табл. 1.

Були досліджені такі оливи:

– CASTROL EPX (аналог ТАД-17И, ТМ-5, API GL-5, SAE (18) 85W-90) після 113 год;

- CASTROL EPX (аналог ТАД-17И, ТМ-5, API GL-5, SAE (18) 85W-90) після 312 год;
- BPDЛ MP30 (аналог M10Г2у, API CC, SAE 30) після 4160 год;
- MOBILGARD 312 (аналог M10Г2ЦС, АЗМОЛ М-3042 цс, API CD, SAE 30) після 512 год;
- MOBIL Delvac 1230 (аналог M10Г2у, API CC, SAE 30) після 628 год;

Таблиця 1

Порівняльна в'язкість мастильних олив, отримана різними методами

Номер проби	Температура 40 °С		Температура 50 °С	
	Метод			
	Оствальда-Пінкевича (мм ² /с)	Гепплера (мм ² /с)	Оствальда-Пінкевича (мм ² /с)	Гепплера (мм ² /с)
1	108,6	106,2	66,0	65,2
2	-	115,2	-	70,0
3	112,5	110,7	68,2	66,0
4	102,8	100,1	63,2	62,4
5	98,5	94,9	61,3	59,1

Примітка: «-» – вимірювання неможливе.

Як видно з табл. 1, за методом Гепплера отримано нижчі значення в'язкості, ніж метод Оствальда–Пінкевича. Як показують дослідження це, ймовірно, викликано уповільненням плинності оливи по капіляру через накопичені в ньому домішк. З цієї причини об'єктивно виміряти в'язкість оливи капілярним методом неможливо. Таким чином, в'язкість оливи можна вважати показником, що характеризує його реологічні властивості, проте слід констатувати, що в'язкість не може бути єдиним показником експлуатаційної придатності олив. В'язкістю, як мірою внутрішнього тертя рідини не можна об'єктивно охарактеризувати опір переміщенню деталей устаткування, зумовлений, крім того, видом і геометрією спряжених пар тертя, технологією їх обробки і способом змащення. Методи вимірювання в'язкості потрібно удосконалювати з урахуванням максимального наближення до експлуатаційних впливів у реальних вузлах тертя. За стандартами ASTM в останні роки в багатьох країнах для в'язкісної класифікації

мастильних олив використовують ротаційний віскозиметр Брукфілда.

Іншим відомим стандартним критерієм якості мастильних матеріалів є визначення температури спалаху у відкритому і закритому тиглях. Дослідження, підтвержені автором (табл. 2), показують, що за незначної зміни в'язкості мастильної оливи зниження температури спалаху можливо свідчить про глибину окиснювання оливи й утворення високов'язких продуктів конденсації. Виявлено також, що із збільшенням умісту шламів в оливі знижувалася її температура спалаху у відкритому тиглі. Точніші результати можна отримати, визначаючи температуру спалаху у відкритому тиглі. У табл. 2 наведено значення температури спалаху раніше відібраних олив.

Таблиця 2

Порівняльна температура спалаху ортимана різними методами

Номер проби	Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	Температура спалаху у закритому тиглі, °С
1	266	239
2	247	227
3	278	254
4	253	230
5	267	240

Реальна гранична температура спалаху зумовлена багатьма чинниками. Аналіз отриманих даних підтверджує думку про те, що визначення температури спалаху в лабораторних умовах, особливо в закритому тиглі, не має практичного застосування, оскільки воно не корелюється з реальними умовами роботи оливи. Таке визначення температури може бути використано лише для відносного зіставлення двох або більше зразків мастильних олив.

Визначення вмісту вільних кислот у мастилах провадиться методом визначення кислотного числа, тоді як визначення кислот вільних і зв'язаних – методом визначення лужного числа. Обидва методи зводяться до потенціометричного або калориметричного титрування зразка оливи, розчиненого спиртовим (етиловий, ізопропіловий), бензиновим, толуоловим, ізопропаноловим або іншим розчинниками. Результати, отримані різними методами,

порівнювати неможливо. У багатьох публікаціях, що стосуються експлуатації машин, збільшення кислотного числа вважається мірою інтенсивності корозійного впливу мастильних олив. Такі припущення не завжди підтверджуються. Результати вимірювання кислотного числа стандартними методиками свідчать лише про загальну кількість кислотних груп в одиниці маси оливи, але при цьому не відомо, з якими радикалами ці групи пов'язані і яка сумарна кількість цих кислот. Вимірювання кислотного числа супроводжуються великою суб'єктивною похибкою у разі ручного калориметричного титрування і труднощами точного визначення точки перегіну за потенціометричного титрування, оскільки реальні криві нейтралізації відрізняються від теоретичних характеристик перебігу цього процесу. Значення кислотних чисел для раніше обраних зразків олив, отримані шляхом калориметричного і потенціометричного титрування, наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Порівняльні значення кислотного числа, отримані за різними методами

Номер проби	Кислотне число за методом потенціометричного титрування, мг/КОН/г	Кислотне число за методом калориметричного титрування, мг/КОН/г
1	1,91	2,01
2	1,31	1,83
3	1,26	1,31
4	1,98	2,02
5	2,34	2,78

Кислотне число можна визнати умовним критерієм оцінювання окиснювання мастильних олив до моменту появи кислотних сполук. Поглиблення цього процесу призводить до нейтралізації і випадання утворених ефірів в осад. Тому кислотне число застосовують досить обмежено.

У свою чергу, зміни лужного числа, визначеного лужним гідролізом ефірів, можуть характеризувати інтенсивність процесу окиснювання мастильних олив. Ці випробування надто складні і потребують дорогого спеціального обладнання, а результати не відповідають реальним умовам. Екстракція осадів як показник ступеня окиснювання, проведена за допомогою різноманітних

розчинників, не дає зіставимих результатів. Таким чином, щодо методик визначення лужного та кислотного чисел можна підсумувати: визначена інтенсивність корозійного впливу розчинів на матеріали не завжди відповідає змінам кислотного і лужного чисел. Тому значення кислотного числа не можна вважати мірою корозійної активності мастильних олив.

У процесі роботи мастильних олив нагромадження різноманітні осадки, що є продуктами конденсації і коксування і мають чисто механічне походження. Визначення їх кількості може служити ступенем старіння олив. Проте для визначення вмісту цих осадків застосовують, різні розчинники. Нехтуючі зовнішніми механічними домішками, що визначають методом екстракції бензолом (так робить ESSO), фірма «Антар» рекомендує визначати вміст шламів методом екстракції н-пентаном, SHELL–н-гептаном, а ESSO–екстракційним бензином. Таким чином, під час визначення вмісту шламів пентаном, гептаном і бензином, крім смол, виділяються з олив також механічні домішки. Це означає, що осадки є сумою нерозчинних у цих розчинниках смол і механічних домішок. Кількість осаджених смол зумовлено характером розчинника, його відношенням до оливи, температурою, коефіцієнтом розподілу хімічного складу смол і їх молекулярної маси. Зіставлення кількості осадків, осаджених за допомогою різноманітних розчинників на фільтраційній плиті SETA, подано в табл.4.

Таблиця 4

Порівняльний вміст нерозчинних осадків, визначений за допомогою різних розчинників, %

Номер проби	Вміст нерозчинних осадків,%		
	у н-пентані	у н-гептані	у екстракційному бензині
1	1,49	1,25	3,19
2	1,65	1,34	3,71
3	1,53	1,26	3,21
4	1,79	1,54	3,60
5	1,21	1,01	3,05

Таким чином, дійсний вміст шламів відповідає вмісту осаду, отриманого з оливи за допомогою відповідного розчинника, зменшеного на вміст механічних домішок, який визначено за допомогою бензолу. Наведені методи визначення вмісту осадків, незважаючи на їх відмінності, не дозволяють зробити висновки про

експлуатаційну придатність мастильних олів. Більше того, дослідження, проведені авторами на базі «Політехніки Радомської», показали, що введення 2%-ї маси механічних домішок і шламів, виділених із відпрацьованих олів у моторну оливу SuperOl SAE 30, незначно поліпшує його протизносні властивості. Такі ж результати були отримані під час уведення цих осадів у базову оливу SAE 10, причому протизносні властивості визначалися на чотирикульковій машині тертя. Таким чином, визначення вмісту шламів і механічних домішок, хоч і залежить від експлуатаційних властивостей мастильних олів, не може бути безпосереднім показником процесів старіння.

Таким чином, можна зробити висновок, що нормативні методи оцінювання захисних властивостей мастильних олів не відповідають реальним умовам експлуатації. Аналогічні зауваження можна також зробити, розглядаючи такі стандартизовані критерії, як температура застигання та вміст води.

З вищевикладених міркувань випливає, що сукупність стандартів на оливи, а також на методи визначення їх властивостей ґрунтується на умовних показниках або умовних засобах їх визначення за недостатньої кореляції з реальними умовами експлуатації. Стандартними методами випробовувань можна оцінювати лише свіжі оливи, оскільки процедура реалізації багатьох визначень потребує видалення з випробовуваних зразків забруднень, зневоднення, гомогенізації, тобто видалення з них компонентів, що нагромаджуються в оліві в процесі експлуатації і істотно впливають на визначувані значення. Методи випробовування мастильних олів розробляються виробниками олів або авторами їхніх рецептур, тобто мають явно виробничий характер. Ґрунтуючись на такому наборі стандартів, виробник мастильних олів відносно просто виконує вимоги відповідного стандарту на оливи, не приділяючи уваги його поведінці в реальних умовах експлуатації і вузлах тертя. Значення підданих критиці оцінних властивостей у стандартах на продукт, як правило, мають допустимі інтервали (не нижче, не вище), що уможлиблює виробництво мастильних олів одного й того ж сорту в широкому інтервалі змін складу. У свою чергу, зберігання стабільності складу масляної основи у разі потреби переробляти різноманітні види нафти на тих самих установках дуже важке завдання і поряд із тим істотно визначає ефективність дії присадок, а отже, й експлуатаційні властивості товарних олів.

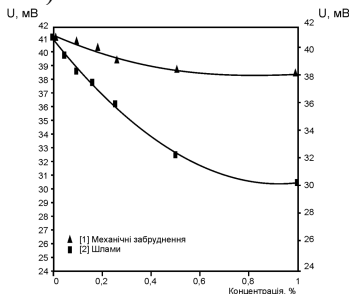
Аналізуючи процес зміни стану мастильних олив, можна стверджувати, що критеріями оцінювання цього стану мають бути такі критерії, що відображають явища взаємодії компонентів змащувальних олив і вузлів тертя, що активно взаємодіють. Чиста свіжа мастильна олива є неполярною рідиною. Термохімічні процеси, що перебігають в умовах реальної експлуатації, призводять до виникнення продуктів окиснення, що у свою чергу, підвищують їх полярність. Проте серед нафтопродуктів діелектричними параметрами характеризувалися суміші вуглеводнів, які використовувалися для заливання електровимикачів, виготовлення конденсаторів, а також як трансформаторні оливи. Лише останніми роками почали публікуватися роботи про використання швидких і точних діелектричних методів для оцінювання стану мастильних олив. Поступове нагромадження полярних продуктів, ще розчинних у не схильних до змін вуглеводнях, залежно від температури може довести їх концентрацію до такої, за якої можна чекати істотних змін діелектричної проникності, яка для критичних концентрацій і температури набуває максимального значення.

Оскільки мастильні оливи є складною сумішшю десятків різних сполук, які реагують між собою, то в прикладних дослідженнях немає потреби визначати хімічний склад олив, які експлуатуються. Водночас необхідно визначати відносні зміни стану цих олив як похідну змін стану хімічного складу і відповідно фракційного складу.

У проведених дотепер роботах за оцінювальними властивостями нафтопродуктів багато уваги приділялося вивченню провідності (опору), але в постійному електричному полі. На нашу думку, такі дослідження характеризують тимчасові значення цих властивостей в певних розчинах. Дослідження провідності, а по суті падіння потенціалу, реалізовані в змінному електричному полі, можуть характеризувати процес зміни стану багатокомпонентних сумішей.

В межах програми попередніх досліджень з відпрацьованих олив Суперол CC SAE 30 шляхом екстракції бензолом були виділені забруднення. Отримані зразки сушилися за температури 105 °C, а виділені забруднення розчинялися в масляній основі до отримання розчинів 0,01; 0,05; 0,25; 1 і 5%. З бензолового розчину, після випару розчинника, шляхом екстракції н-пентаном виділені шлами, які потім

розчинялися при аналогічних концентраціях в масляній основі. За вище встановлених умов і певного режиму зміни зразків досліджувалися зміни падіння потенціалу для серії розчинів забруднень і шламів різних концентрацій. Для отриманих результатів в інтервалі концентрацій до 1% були складені відповідні рівняння регресії та побудовані графічні залежності (див. рисунок).



Залежності падіння потенціалу від концентрації шламів та механічних забруднень

Як видно з рисунку найрізкіші зміни падіння потенціалу спостерігаються для сильно перевищує полярних шламів як продуктів окиснення. Якщо концентрація шламів перевищує 4 %, значення падіння потенціалу стабілізується.

Висновки. На підставі отриманих результатів можна констатувати, що зміни діелектричної проникності як функція часу експлуатації можна вважати показником ступеня старіння оливи. Отримані залежності дозволяють наближено оцінювати концентрацію шламів та механічних забруднень у відпрацьованих оливах. Проте, враховуючи багатоконпонентність сучасних мастильних матеріалів та безумовний вплив інших чинників на діелектричну проникність матеріалу, слід провести ще серію додаткових та уточнювальних експериментів для отримання більш об'єктивних механізмів оцінювання трибологічного стану мастильних олиव.

Список літератури

1. *Зміни стану мастильних олив нафтогазопромислового обладнання у процесі експлуатації.* Шостаківський І.І., Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, № 4'2002 (5), Івано-Франківськ, 2002 р.

2. *Biernat K. Ocena właściwości normatywnych jako kryteriów charakteryzujących przydatność olejów smarowych w eksploatacji.* Zeszyty naukowe IPE MCNEMT, Radom, 1988.

3. *Советские* по вязкости жидкостей и коллоидных растворов. [Труды], под ред. Е. А. Чудакова и М. П. Воляровича, т. 1—3, М. — Л., 1941—45; Волярович М. П., Вязкость смазочных масел при низких температурах, ч.1, М., 1944; Белкин И. М., Виноградов Г. В., Леонов А.И., Ротационные приборы, М., 1968.

4. *Трансмиссионные масла*. Пластичные смазки. Р.Балтенас, А.С.Сафронов, А.И.Ушаков, В.Шергалис.СПб.: ООО "Издательство ДНК", 2001. — 208 с.

5. *Рыхин В.В., Павлов Х.А.* Результаты эксплуатационных исследований моторных масел различных групп на двигателях ЯМЗ 238 МВ, тракторов марки К-700. СМТТМ, № 4, 1977.

6. *Морозов А.* Применение топлив и масел в дизелях. —Л.: Машиностроение, 1984.

7. *Манусаджанц О.И.* Оценка эксплуатационных свойств масел в двигателях. СМТТМ, № 4, 1978.

8. *Мосихин Е.П., Аразов Д.М., Коробков М.В.* Анализ корреляционных связей между моторными и физикохимическими свойствами масел. —М.: НИИАТ, № 6, 1970.

9. *Аразов Д.М., Мосихин Е.П.* Методы оценки эксплуатационных свойств масел в двигателях. —М.: НИИАТ, № 6, 1970.

Парайко Ю.И., Шостаковский И.И. **Диэлектрометрический метод контроля изменения трибологических характеристик трансмиссионных масел нефтегазового оборудования** // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. — К.: Вид-во НАУ «НАУ-друку», 2010. — Вип. 53. — С. 71–80.

На примере отобранных проб масел продемонстрирована противоречивость результатов общепринятых методов испытаний и критически рассмотрена возможность их использования в качестве критериев оценки эксплуатационной пригодности масел. В качестве альтернативного показателя степени старения масел предложено использовать диэлектрическую проницаемость в переменном электрическом поле. Приведены первые результаты исследований.

Рис. 1, табл. 4, список лит.: 9 наим.

Dielectrometrical method of control of oil and gas equipment transmission oils tribology changes

By the example of results discrepancy of the standard lubricant oils tests methods the opportunity of their usage as criteria of an estimation of operational suitability is critically considered. As an alternative metric of degradation degree of lubricant oils it is suggested to use an inductivity in the variable electrical field. The first results of researches are listed.

Стаття надійшла до редакції 04.06.10