

УДК 621.891

О. О. МІКОСЯНЧИК, Р. Г. МНАЦАКАНОВ, М. В. КІНДРАЧУК, М. С. ХІМКО

*Національний авіаційний університет, Україна***ОЦІНКА ДИНАМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОЇ В'ЯЗКОСТІ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В ТРИБОТЕХНІЧНОМУ КОНТАКТІ**

В роботі досліджено кінетику зміни динамічної ефективної в'язкості граничних шарів в початковий пусковий період та загальної динамічної ефективної в'язкості при стабілізації триботехнічних показників контакту в нестационарному режимі при використанні в якості змащувального матеріалу мінеральних та синтетичних олиव для гідромеханічних коробок передач з різними поліфункціональними присадками.

Ключові слова: динамічна ефективна в'язкість, реологічні характеристики, граничні адсорбційні шари, мастильний матеріал.

Вступ. Поліфункціональність експлуатаційних властивостей мастильного матеріалу свідчить про його значний вплив на довговічність контактних пар. Зміни енергетичного балансу в триботехнічному контакті за рахунок екзотермічних реакцій та сорбційних процесів на межі метал – мастильний матеріал, які призводять до утворення граничних модифікованих шарів на активованій поверхні металу, - це головні чинники, які визначають кінетику тертя та зносу. Ефективність змащування залежить від механо-фізико-хімічних явищ в триботехнічному контакті на межі метал – мастильний матеріал. Галузь досліджень цих процесів в нестационарних умовах, при домінуючому впливі граничного або змішаного режимів мащення, потребує подальшого вивчення. Не існує єдиного підходу щодо питань, пов'язаних з реологічними властивостями олив, ступенем екранування граничних адсорбційних шарів при знакозмінній деформації, динамікою активації поверхні металу та полімеризаційною здатністю компонентів мастильного матеріалу. Визначення механізмів реалізації зазначених процесів буде сприяти підвищенню надійності трибомеханічної системи.

Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем. Роботи Б.В. Дерягіна, Ф.Н. Шведова, Я.І. Френкеля, М.М. Кусакова, П.А. Ребіндера, Г.В. Виноградова та ін. є класичною основою напрямку вчення про фізико-механічні властивості нафтопродуктів, їх реологічні характеристики [1].

В змащувальному шарі протікають складні молекулярні і надмолекулярні зміни, що призводять до структуризації вуглеводневих компонентів олив і переходу їх в нев'язкий структурований стан, характерний неньютонівським рідинам. Ахматов А.С. характеризує такі зміни набуванням „структурної в'язкості” асоційованих речовин напівколоїдного типу під дією поверхні металу[2].

В цих умовах в'язкість олив при атмосферному тиску не може служити критерієм ефективності змащувальної дії; домінуючим чинником є прояв фізико – хімічних властивостей групового складу вуглеводнів масляних фракцій і їх схильність до формування граничних шарів. Вплив тиску, сумарної швидкості кочення і швидкості ковзання, температури в зоні контакту на формування і адаптацію адсорбційних шарів повною мірою відображає дослідження ефективної в'язкості і реологічних характеристик олив.

Відомий спосіб оцінки динамічної ефективної в'язкості [3] в еластогідродинамічному контакті від тиску та температури за формулою:

$$\eta = \eta_0 e^{\alpha P - \beta(T - T_0)} \quad (1)$$

де η і η_0 – динамічні ефективні в'язкості мастильного матеріалу при температурах T і T_0 , α – п'єзокоефіцієнт в'язкості, P – контактне навантаження.

Недоліками запропонованого способу є те, що достовірність формули (1) відповідає невеликим температурним інтервалам $T - T_0$, п'єзокоефіцієнт в'язкості визначають шляхом підбору для мінеральних та синтетичних олів з присадками або без них, не враховується вплив градієнту швидкості зсуву та дотичних напруг зсуву масляного шару в зоні контакту.

Відомий також спосіб розрахунку динамічної ефективної в'язкості [4], який враховує час проходження мастильного матеріалу через зону контакту та швидкість руху мастильного матеріалу в довільному перетині мастильного шару по ширині контакту:

$$\eta_{ef}(D) = \eta \left[1 - \exp\left(-\frac{1}{2D}\right) \right] \quad (2)$$

де η_{ef} – безрозмірна ефективна в'язкість, η – безрозмірна статична в'язкість, D – число Дебори.

Підвищення достовірності оцінки динамічної ефективної в'язкості за даним способом досягається з урахуванням залежності коефіцієнта тертя та дотичних напруг зсуву масляного шару від середньої швидкості руху мастильного матеріалу та ефектів неньютонівських рідин.

В роботі [5] запропонована формула для розрахунку динамічної ефективної в'язкості мастильного матеріалу, достовірність якої підтверджена при низьких швидкостях ковзання в контактї для виключення впливу приросту теплоти тертя від ковзання на зміну ефективної в'язкості.

В роботі [6] при розрахунку динамічної ефективної в'язкості враховуються температура тертя в контактї від ковзання та температурний коефіцієнт, зміни яких були встановлені при точному вимірюванні коефіцієнта тертя на припрацьованих поверхнях з урахуванням моментів в кінематичному ланцюгу роликів пристрою.

Відомий спосіб [7] визначення динамічної ефективної в'язкості стандартного та дослідного матеріалу в умовах кочення за рахунок швидкого формування максимальної товщини мастильного шару з подальшим її зниженням до настання масляного голодування шляхом вимірювання через певні інтервали часу товщини мастильного шару та швидкостей кочення. Однак, недоліком способу є відсутність визначення моменту тертя, за зміною якого можливо розрахувати дотичні напруги зсуву масляного шару.

Відомо [8], що через короткий час припрацьовання внаслідок силового та температурного впливу відбувається деформація, текстурування поверхневих шарів контактуючих матеріалів та зростання їх енергії активації, що обумовлює формування мастильним матеріалом на контактних поверхнях структурованих граничних шарів різної природи. Тому перспективним напрямом при аналізі реологічних властивостей олів в контактї є оцінка зміни динамічної ефективної

в'язкості залежно від гідродинамічної та негідродинамічної складової товщини мастильного шару.

Мета роботи. В роботі поставлено задачу роздільного визначення динамічної ефективної в'язкості структурованих граничних шарів мастильного матеріалу негідродинамічного походження в період пуску та загальної динамічної ефективної в'язкості при стабілізації триботехнічних параметрів в контакт. Досягнення поставленої мети реалізується за рахунок послідовного визначення через короткі проміжки часу моменту тертя, швидкості обертання роликів, вимірювання падіння напруги в мастильному шарі в режимі нормального тліючого розряду в нестационарних умовах тертя (в режимі частих пусків – зупинок).

Матеріали і методи досліджень. Спосіб оцінки динамічної ефективної в'язкості мастильних матеріалів в триботехнічному контакт реалізується наступним чином. Пару тертя навантажують заздегидь визначеним зусиллям, змащують досліджуванним мастильним матеріалом, режими обертання роликів програмується керуючим блоком, здійснюють тертя в режимі пуск – зупинка, через 0,01 с ресструють момент тертя, температуру мастильного матеріалу, частоту обертання кожного ролика, визначають значення товщини мастильного шару в контакт шляхом вимірювання падіння напруги в режимі нормального тліючого розряду. При частих пусках – зупинках на контактних поверхнях формуються граничні адсорбційні шари мастильного матеріалу негідродинамічної природи, товщина яких визначається в момент зупинки, в період пуску спостерігається приріст товщини мастильного шару та його стабілізація при досягненні заданого режиму обертання за рахунок формування загальної товщини мастильного шару в контакт, яка містить гідро– та негідродинамічну складові. Розрахунок динамічної ефективної в'язкості проводять при першому вимірюванні триботехнічних показників під час пуску (через 0,01 с), що відповідає динамічній ефективній в'язкості структурованих граничних шарів мастильного матеріалу на активованій тертям поверхні металу, та при вимірюванні при пуску під час стабілізації моменту тертя, швидкості обертання роликів та падіння напруги в мастильному шарі, що відповідає загальній динамічній ефективній в'язкості.

Дослідження проводилися на установці СМЦ-2, в режимі пуск (4 с) - зупинка (3,5 с). Цикли слідували один за іншим, без перерви, всього циклів в експерименті $N = 2000$. В якості зразків використовували ролики $d = 50$ мм із сталі ШХ – 15 (HRC = 58–60). Випробування проводили в умовах кочення ($V_{\Sigma k}$ до 1,92 м/с), проковзування складало 15 %. Об'ємна температура олів – 50 °С, контактна напруга 400 МПа.

Для досліджень були вибрані наступні типи олів для гідромеханічних коробок передач:

- 1) МГТ (ТУ 38.101103–87);
- 2) МГТ на основі таких базових компонентів, як поліальфаолефіни (35 %), ефіри дикарбонових кислот – Ketenlub 16 (50 %), ріпакова олія (15 %);
- 3) Синтетична олива МГТ на основі PAO-8 (95 %) з додаванням ріпакової олії (5 %).

Оливи 2 і 3 типів виготовляють на заводі «Аріан» [9] по вдосконаленій рецептурі з використанням присадок: антиокислювальної – іонола (0,5 %); протизношувальної – інфеніуму С9425 (1,0 %); поліфункціональної в'язкістної і депресорної – В 8-105 (3 %) і антипінної ПМС – 200А (0,003 %).

Результати досліджень та їх обговорення. Незначний приріст товщини змащувального шару ($h \approx 0,98-1,25$ мкм) в початковий момент пуску тривалістю до 0,3 с обумовлює створення в триботехнічному контакті високих градієнтів швидкості зсуву масляного шару, що досягають в період припрацювання $(2-3) \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. При тривалій роботі мастильного матеріалу за таких умов відбувається часткова деструкція високомолекулярних складових олив, що призводить до зниження їх в'язкості. Також на зменшення цього параметру впливає і зростання температури в зоні контакту. Аналіз кінетики зміни загальної ефективної в'язкості досліджуваних олив при стабілізації товщини мастильного шару в період пуску свідчить про зменшення даного параметру при напрацюванні $N=2000$ циклів (рис. 1). Зокрема, зниження η_{ef} олив МГТ 1, 2 та 3 типів зафіксовано в 3,6 : 5,08 : 5,17 разів відповідно.

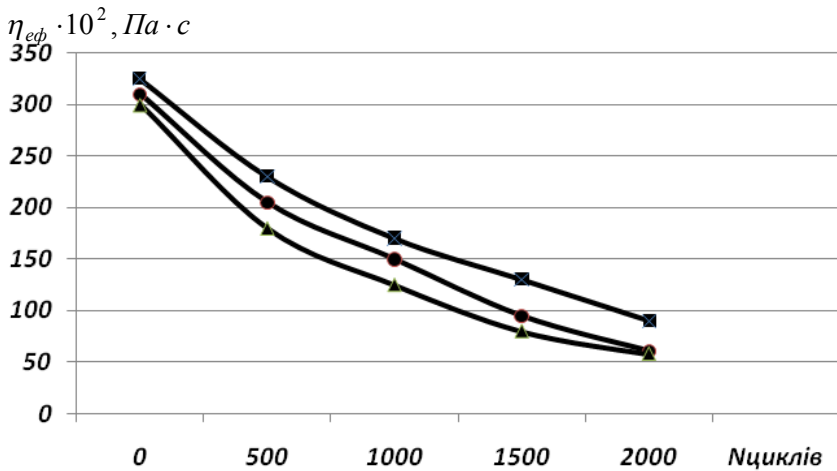
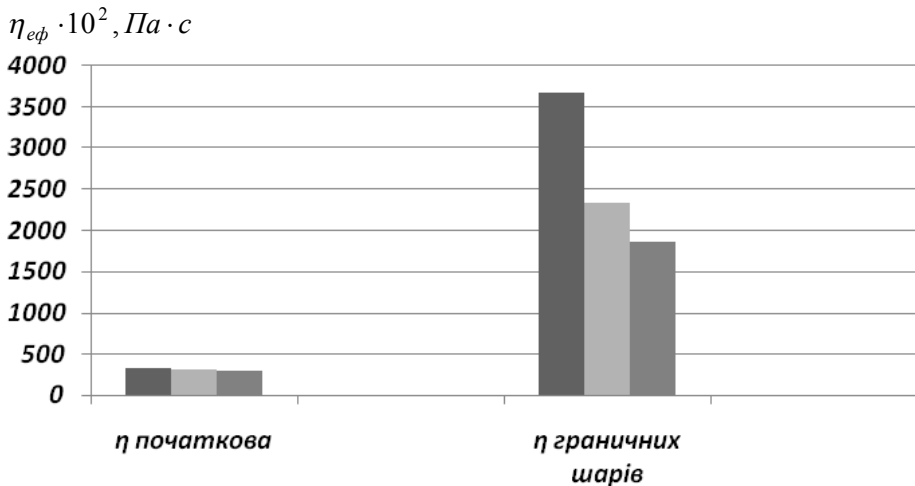


Рис.1. Кінетика зміни загальної ефективної в'язкості (η_{ef}) олив при напрацюванні в нестационарних умовах:

—■— МГТ-1; —●— МГТ-2; —▲— МГТ-3

Водночас, загальною закономірністю, встановленою при тривалому випробуванні олив, є підвищення ефективної в'язкості граничних адсорбційних шарів, зниження градієнта швидкості зсуву та напруг зсуву масляного шару, що свідчить про структурування молекул мастильного матеріалу на активованих тертям контактних поверхнях та надбанням змащувальними матеріалами властивостей неньютонівських рідин. На діаграмі 2 представлено приріст ефективної в'язкості граничних адсорбційних шарів досліджуваних олив: даний параметр зростає в 11,28 : 7,55 : 6,2 рази відповідно для олив МГТ 1, 2 та 3 типів.

Значне зростання ефективної в'язкості граничних шарів в ході експерименту для мінеральної оливи першого типу обумовлено, на наш погляд, не тільки підвищенням адсорбційної активності внаслідок поляризації молекул в контакті, але і низькою термоокислювальною стабільністю глибокоочищеного дистилата нафтового концентрату вуглеводнів трансформаторної оливи ВГ, до 70 % якої міститься в досліджуваній оливі, що призводить до утворення кислих корозійно - активних з'єднань, які підсилюють здатність до шлакоутворення (приріст кислотного числа до закінчення експерименту склав 0,6 мг КОН/г).



Діаграма 2. Приріст ефективної в'язкості граничних адсорбційних шарів оливо для гідромеханічних коробок передач при напрацюванні 2000 циклів

■ – МГТ-1; ■ – МГТ-2; ■ – МГТ-3

У роботі [10] одержані високі показники схильності до окислення нафтових фракцій, виділених з дистильованих оливо різного походження, до яких відноситься трансформаторна олива ВГ, що використовується в якості базового компоненту при компаундуванні товарної оливи. До складу оливи МГТ першого типу входить поліфункціональна антиокислювальна і протизношувальна присадка ДФ-11, проте дитіофосфати з алкільними радикалами характеризуються менш вираженими антиокислювальними властивостями і не достатньо ефективні при уповільненні окислювальних реакцій нафтових фракцій.

Структуризації граничних шарів, внаслідок якої зростає їх ефективна в'язкість, для оливо другого та третього типів сприяє синергізм впливу ефективної несучої здатності ефірів дикарбонових кислот та високої змащувальної активності компонентів ріпакової олії і поліальфаолефінових вуглеводнів [9, 11, 12]. В роботах [11, 13] вказується на знижену стійкість до окислення РАО-8 і ріпакової олії, проте додавання присадки іюнол забезпечує високу окислювальну стабільність оливо - приріст кислотного числа до закінчення експерименту склав, в середньому, 0,09 мг КОН/г для зазначених оливо.

Слід зазначити, що в досліджувані оливи для гідромеханічних коробок передач додають високомолекулярну в'язкісну присадку, в середньому, до 3%, яка піддається механічній деструкції при вказаних значеннях градієнту швидкості зсуву.

Ми вважаємо, що поліізобутенова присадка, що міститься в МГТ першого типу, характеризується найменшою стійкістю до механічної деструкції, в контакті відбувається розрив молекулярного ланцюга, утворення активних радикалів, що беруть участь у формуванні граничного шару. При цьому ефективна в'язкість граничних шарів збільшується на 35%, в порівнянні з іншими видами досліджуваних оливо.

В'язкісна присадка поліметакрилату В8-705, що міститься в МГТ 3 та 4 типів, згідно даним [11], менш схильна до деструкції при значних градієнтах швидкості зсуву, що виявляється в менш пологій залежності ефективної в'язкості граничних шарів від градієнту швидкості зсуву.

Висновки. Перевагами запропонованого способу оцінки динамічної ефективної в'язкості мастильних матеріалів в триботехнічному контакті в нестационарних умовах тертя є:

– можливість більш достовірно і точно оцінити ступінь структуризації мастильного матеріалу на активованій тертям поверхні металу;

– визначити умови надбання мастильним матеріалом властивостей неньютонівських рідин;

– оцінка стійкості компонентів мастильного матеріалу до деструкції при високих градієнтах швидкості зсуву за динамікою зміни динамічної ефективної в'язкості в стабілізаційний період та в період початкового приросту товщини мастильного шару в пусковий період.

Список літератури

1. Фукс Г. И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов / Г. И. Фукс – Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 328с.

2. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения / А. С. Ахматов – М.: ГИФМА, 1963. – 472 с.

3. Хебда М. Справочник по триботехнике: в 3т. Т.2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общ. ред. Хебды М., Чичинадзе А.В. – М.: Машиностроение, 1990. – 416с.

4. Бакашвили Д. Л. Влияние неньютоновских свойств смазок на эффективную вязкость и силу трения в тяжело нагруженном упругодинамическом контакте / Бакашвили Д. Л., Чхаидзе Г. Р., Шварцман В. Ш., Шойхет В. Х. // Трение и износ. – 1982. - №2. – С.265 – 274.

5. Райко М. В. Исследование смазочного действия нефтяных масел в условиях работы зубчатых передач: дис. на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.02.04 / Райко М. В. – К.: КИИГА, 1974. – 369 с.

6. Порохов В. С. Трибологические методы испытания масел и присадок / Порохов В.С. - М.: Машиностроение, 1983. – 183 с.

7. А.с. SU 1096534 G 01 N 11/00 Способ определения реологических характеристик смазочных материалов.

8. Дмитриченко Н. Ф. Смазочные процессы в условиях нестационарного трения / Дмитриченко Н.Ф., Мнацаканов Р.Г. – Житомир:ЖИТИ, 2002.- 308 с.

9. Декларацийний патент на винахід 52026А, Україна, 7С10М129.70. Олива для гідромеханічних коробок передач: Пат. 52026А, 7С10М129.70. – Заявл. 04.01.2002; опубл. 16.12.2002, Бюл. №12, 2002. – 4с.

10. Кичкин Г. И. Масла для гидромеханических коробок передач / Кичкин Г. И., Виленкин А. В. – М.: Химия, 1969. – 212 с.

11. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества / Абрамзон А.А. – Л.: Химия, 1981. – 304 с.

12. Рудик Е. Г. Оливи на рослинній основі для гідромеханічних та автоматичних коробок передач / Рудик Е.Г., Мнацаканов Р.Г., Міланенко О.А., Дец М.М. // Матеріали V міжнародної науково-технічної конференції МВІА. – Київ, 2003. – С. 9-12.

13. Кулиев А. М. Химия и технология присадок к маслам и допливам / А. М. Кулиев – Л.: Химия, 1985. – 312 с.

*O. O. MIKOSIANCHYK,
M. S. KHIMKO*

R. G. MNATSAKANOV,

M. V. KINDRACHUK,

ESTIMATION DYNAMIC VISCOSITY OF THE LUBRICANT MATERIALS IN TRIBOLOGICAL CONTACT

There is presented the example of the separate determination of the dynamic viscosity of structured boundary layers in the lubricant material of non-hydrodynamic nature in the period of start-up and the general dynamic effective viscosity at stabilization of tribological parameters in the contact. General legitimacy established during the long-term investigations of mineral and synthetic oils for hydro-mechanical transmissions is increasing effective viscosity of the adsorption boundary layers, reduction the gradient of shear stress of lubricant materials on the activated by friction contact surfaces and obtaining properties of non-Newtonian fluids. It was determined that the high shear gradients oil layer during breaking-in and increasing the temperature in contact zone caused decreasing of the general dynamic effective viscosity of lubricant materials at operating time.

Keywords: effective dynamic viscosity, rheological characteristics, boundary adsorption layers, lubricant materials.

Мікосянчик Оксана Олександрівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

Мнацаканов Рудольф Георгійович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри організації авіаційних робіт та послуг, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

Кіндрачук Мирослав Васильович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел./факс: +38 044 406 77 73, E-mail: Kindrachuk@ukr.net.

Хімко Маргарита Сергіївна – аспірант, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.