

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.1(90).15234

О. О. МІКОСЯНЧИК, Р. Г. МНАЦАКАНОВ, О. С. ЯКОБЧУК, А. М. ХІМКО,
В. В. ТОКАРУК

Національний авіаційний університет, Україна

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ТРИБОТЕХНІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Запропоновано застосування програмно-апаратного комплексу для оцінки триботехнічних характеристик трибоелементів. Переваги розробленої методики контролю та діагностики експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів полягають в неперервній оцінці їх змащувальних, антифрикційних, протизношувальних та реологічних характеристик в нестационарних умовах тертя. Апробація методики проведена на оливі «Бора Б» СМ-9.

Ключові слова: методика, змащувальний шар, антифрикційні властивості, режим мащення, знос, мікротвердість.

Вступ та постановка задач досліджень. Надійність механічних систем закладається на стадії проектування, забезпечується при виготовленні і підтверджується в період експлуатації машин та механізмів. Мастильний матеріал в значній мірі впливає на показники надійності. Сучасні вимоги до надійності трибомеханічних систем пов'язані з якісним поліпшенням змащувальних матеріалів, їх складових і, в цілому, обумовлені поглибленим аналізом стану змащувального середовища і контактної поверхні металу в процесі тертя. У сучасних умовах технологія виробництва змащувальних матеріалів і їх компонентів інтенсивно розвивається і удосконалюється. Створюються нові змащувальні матеріали на мінеральній і синтетичній основах, ведуться серйозні розробки з оптимізації компонентного складу масел і мастил, вдосконалюються їх фізичні, хімічні та експлуатаційні властивості.

Першочергово, вже на стадії проектування конструктор повинен забезпечуватися методичною базою щодо вибору не тільки матеріалів деталей машин за критеріями міцності, а й методичним забезпеченням щодо вибору мастильних матеріалів, що включає оцінку температурного діапазону застосування, сумісності з матеріалами пар тертя, аналіз протизношувальних властивостей, несучої здатності мастильного шару, схильності до формування захисних шарів на поверхнях тертя та ін.

Мастила, оптимально підібрані для вирішення конкретної технічної задачі, можуть дати значний ефект за рахунок економії енергії, зниження зносу, витрат на технічне обслуговування і ремонт, збільшення терміну служби машин і устаткування, і, нарешті, вони можуть бути раціональним засобом вирішення актуальних проблем екології і охорони навколишнього середовища [1].

Таким чином, розробка засобів і методів контролю стану мастильних матеріалів і процесів, що протікають в фрикційному контакті, а також обґрунтування критеріїв їх оцінки є актуальним завданням.

Загальні аспекти вибору методик трибологічних досліджень і моделювання процесів тертя. Структурна пристосованість і еволюція трибологічної системи в процесі експлуатації можуть істотно змінити вихідні параметри, які використовуються при прогнозуванні ресурсу вузла тертя. Чисельне моделювання механізмів тертя в граничному і змішаному режимах мащення, домінуючих при нестационарній роботі елементів трибоспрямижень, є перспективним на-

прямоком в плані оцінки зміни властивостей конструкційних матеріалів при експлуатації. В роботі [2] з використанням комбінованих чисельних і експериментальних підходів наведено результати моделювання прояву мастильним матеріалом в'язко-пружних властивостей при впливі тиску в закритих локальних ділянках, що утворюються на поверхні металу.

Для отримання достовірних результатів досліджень елементів трибоспряжень, відтворюваності та збіжності результатів при повторних експериментах, необхідна чітка структура методики трибологічних досліджень. Вона повинна включати: експериментальні засоби для проведення експерименту (схема і конструкція установки), об'єкти дослідження (матеріали, конструкція, точність виготовлення), умови проведення експерименту (навантаження, кінематичні і температурні фактори), контрольні-вимірні засоби, методи обробки результатів експериментального дослідження.

Розвиток комп'ютерної техніки, а також програмних засобів дозволяє широко розповсюджувати методи моделювання для багатьох інженерних задач. Моделювання трибологічних процесів на основі емпіричних даних дозволяє розробляти адекватні заходи в управлінні трибосистеми [3].

Отже, мета, що постає перед створенням триботехнічного комплексу, – одержання більш достовірних результатів досліджень, проведення випробувань в умовах кочення, ковзання, реверсу без переобладнання пристрою, розширення діапазону коефіцієнта проковзування між контактуючими тілами кочення, зменшення матеріалоемності.

Мета роботи – розробити методику оцінки експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів на основі аналізу триботехнічних параметрів фрикційного контакту в режимі on-line.

Методика контролю та діагностики експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів.

Дослідження мастильних матеріалів проводиться на програмно-апаратному комплексі (ПАК) для оцінки триботехнічних характеристик трибоелементів [4]. ПАК представляє собою комплекс, до складу якого входить установка тертя (УТ), електронний блок (ЕБ), програмне забезпечення (ПЗ) «Тертя», встановлене на персональному комп'ютері (ПК) типу IBM PC. Програмний блок математичної обробки даних виконує обчислення за заданим алгоритмом розрахунку. В створеній програмі є окремий канал для візуальної оцінки кінетики зміни основних триботехнічних показників трибоконтакту в режимі on-line.

Методики визначення триботехнічних характеристик вузла тертя при використанні ПАК:

– змащувальні властивості (гідродинамічна і негідродинамічна складові товщини мастильної плівки) визначаються методом падіння напруги в режимі нормального тліючого розряду. Згідно з цією методикою, вимірюється падіння напруги в змащувальному шарі при силі струму 2 і 4 А, потім за тарувальними таблицями проводиться визначення товщини мастильного шару;

– антифрикційні властивості контакту визначаються за кінетикою зміни крутного моменту тертя та подальшим розрахунком коефіцієнту тертя в контакті;

– реологічні характеристики мастильного матеріалу (градієнт швидкості зсуву, напруження зсуву змащувальних шарів, ефективна в'язкість в контакті) визначаються за кінетикою зміни товщини мастильного шару, швидкості кочення випереджаючої та відстаючої поверхні, температури мастильного шару [5];

– визначення питомої роботи тертя в триботехнічному контакті (розрахунок питомої роботи тертя проводять шляхом інтегрування площі, обмеженої кривою моменту тертя, та вибору довільного діапазону інтегрування по осі абсцис за координатою часу напрацювання елементів трибоспряження, по якій визначається кут повороту контактних поверхонь за зафіксованою їх частотою обертання в певний обраний час наробітки, з урахуванням кінетичної енергії обертальних деталей);

– міцнісні характеристики контактних поверхонь металу визначаються за ГОСТ 22162-76 (Метод определения микротвердости);

– протизношувальні властивості мастильних матеріалів визначаються за результатами вимірювання попередньо нанесеної лунки вдавлюванням індентора приладу ПМТ-3 (ГОСТ 27860-88. Детали трущихся сопряжений. Методы измерения износа).

Об'єкти досліджень та умови експерименту. Мастильний матеріал: олива «Бора Б» СМ-9 випускається ТОВ «Бора Б» (Україна) за ТУ У 19.2-38474081-017:2018 зі зм. 1 «Оливи трансмісійні «Бора Б»». Зразки: ролики зі сталі 40XH (HRC 38, $R_a = 0,34$ мкм). Змащування контактних поверхонь здійснювалось шляхом занурення нижнього ролика в ванночку з оливою. Режим тертя: нестационарні умови – циклічність проведення в режимі пуск – стаціонарна робота – гальмування – зупинка (рис. 1).

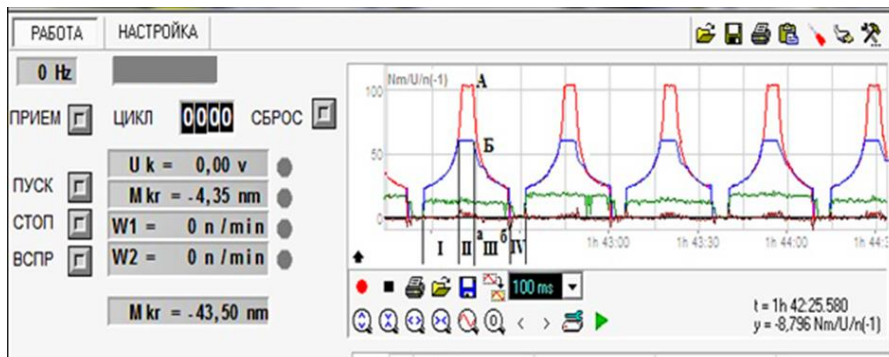


Рис. 1. Схема роботи трибосистеми в нестационарних умовах тертя: ділянки: I – пуск; II – стаціонарна робота; III – гальмування; IV – зупинка

Максимальна частота обертів: для випереджаючої поверхні – 700 об/хв, для відстаючої поверхні – 500 об/хв. Проковзування – 30%. Шлях тертя за один цикл: для випереджаючої поверхні – 91,845 м, для відстаючої поверхні – 62,8 м. Загальний шлях тертя: для випереджаючої поверхні – 9184,5 м, для відстаючої поверхні – 6280 м.

Максимальне контактне навантаження по Герцу – 200 МПа.

Кількість циклів в експерименті: 100 циклів (з 1-го по 45-й цикл – температура оливи 20 °С, з 46-го по 50-й цикл – нагрівання оливи, з 51-го по 100-й цикл – температура оливи 100 °С). Тривалість циклу – 80 с.

Результати досліджень. Проаналізуємо кінетику зміни триботехнічних параметрів при напрацюванні в нестационарних умовах тертя.

Досліджувана олива «Бора Б» СМ-9 характеризується ефективними змащувальними властивостями як в період пуску, так і при максимальних досліджуваних обертах. В середньому, товщина мастильного шару в період пуску становить 1,73 та 2,07 мкм (рис. 2). Зрив мастильного шару при пуску та безпосередній металевий контакт поверхонь тертя спостерігався до 10 циклу напрацювання, що обумо-

влено адаптаційними факторами при припрацюванні контактних поверхонь, та при 45...55 циклах напрацювання, що обумовлено домінуючим впливом температурного чинника. При підвищенні температури в триботехнічному контакті спостерігається зниження товщини граничних адсорбційних шарів, в середньому, в 10 разів, що являється проявом зміни їх природи – граничні шари переважно фізичної природи змінюються граничними шарами хімічної природи, які характеризуються більш ефективними протизношувальними характеристиками.

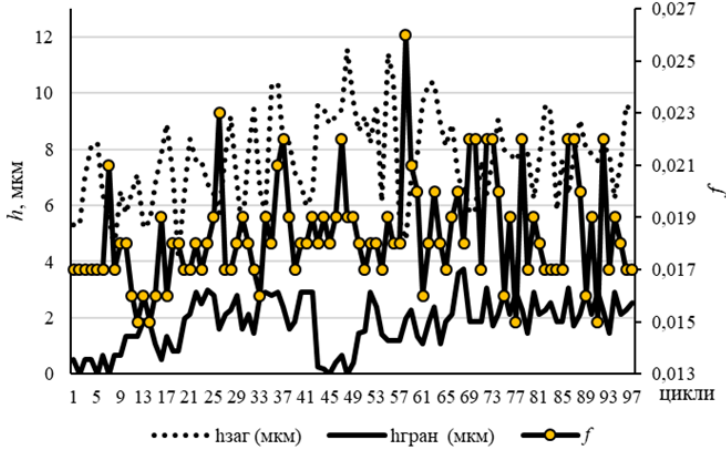


Рис. 2. Кінетика зміни коефіцієнту тертя (f), товщини граничних адсорбційних шарів ($h_{гран}$) та загальної товщини мастильного шару ($h_{зар}$) в контакті при напрацюванні

В діапазоні максимальних обертів роликів загальна товщина мастильного шару спостерігалась на рівні 4,5...10,36 мкм, незалежно від температури оливи. Таким чином, зниження кінематичної в'язкості досліджуваної оливи в 17 разів при підвищенні температури з 20 до 100 °С не впливає на несучу здатність мастильного шару. Насамперед, це обумовлено інтенсифікацією адсорбційних процесів на активованій тертям поверхні металу в умовах зростання температури та формуванням стійких граничних адсорбційних шарів.

При пуску, температура мастильного матеріалу 20 °С, переважає змішаний режим мащення, при зростанні температури мастильного матеріалу до 100 °С домінує еластогідродинамічний (контактно-гідродинамічний) режим мащення, що свідчить про ефективні пускові властивості оливи «Бора Б» СМ-9 (рис. 3).

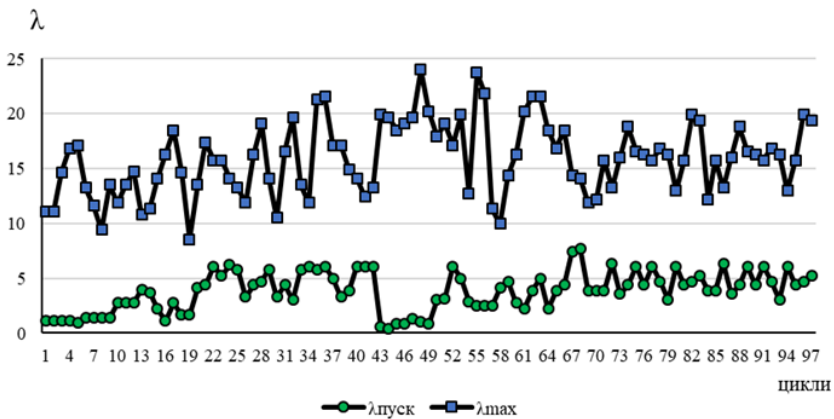


Рис. 3. Кінетика зміни режиму мащення в триботехнічному контакті в умовах пуску ($\lambda_{пуск}$) та при максимальній частоті обертання роликів (λ_{max})

При максимальних обертах досліджуваних зразків домінує гідродинамічний режим мащення, незалежно від температури оливи, що свідчить про ефективне розділення контактних поверхонь внаслідок утворення мастильного шару.

Досліджувана олива «Бора Б» СМ-9 характеризується високими антифрикційними властивостями в досліджуваному температурному діапазоні мастильного матеріалу (рис. 1). Коефіцієнт тертя, незалежно від температури мастильного матеріалу, становить 0,015...0,026. Підвищення коефіцієнта тертя на 58 – 60 циклах в 1,5 разів обумовлено зміною природи граничних шарів при підвищенні температури мастильного матеріалу.

Олива «Бора Б» СМ-9 характеризується ефективними реологічними властивостями. Забезпечення гідродинамічного режиму мащення на максимальних обертах тривалості циклу, в умовах кочення з 30% проковзуванням відбувається за рахунок високої несучої здатності мастильного матеріалу, формування в контакті гідро- та негідродинамічних складових товщини мастильного шару, які характеризуються низькими напруженнями зсуву на рівні, в середньому, 13,89 МПа (рис. 4). Незважаючи на високі градієнти швидкості зсуву в контакті, від $1,99 \cdot 10^3$ до $2,26 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$, які виникають при максимальній швидкості ковзання 0,71 м/с в умовах кочення з проковзування, мастильний матеріал характеризується високою ефективною в'язкістю, в середньому, 5142 Па·с. Це свідчить про стійкість компонентів оливи до деструкції в умовах зростання градієнту швидкості зсуву. Найбільше зниження ефективної в'язкості в контакті до 378...914 Па·с відбувається в умовах початкового підвищення температури оливи (45 – 50 цикли випробувань). Це обумовлено зміною природи граничних адсорбційних шарів, які характеризуються ефективною адаптацією в широкому діапазоні температур.

Параметр питомої роботи тертя характеризує енергонавантаженість фрикційного контакту. Він залежить від типу мастильного матеріалу, матеріалу контактних поверхонь, умов роботи трибосистеми. Одержані експериментальні значення $A_{\text{терт}}$ в діапазоні 1186...6328 Дж/мм² характеризують нормальні умови роботи трибосистеми. З підвищенням температури оливи з 20 до 100 °С питома робота тертя зростає, в середньому, в 1,6 раз, що свідчить про перехід трибосистеми в більш складні умови тертя. Однак, як зазначено вище, досліджуваний мастильний матеріал за таких умов забезпечує реалізацію в контакті гідродинамічного режиму мащення.

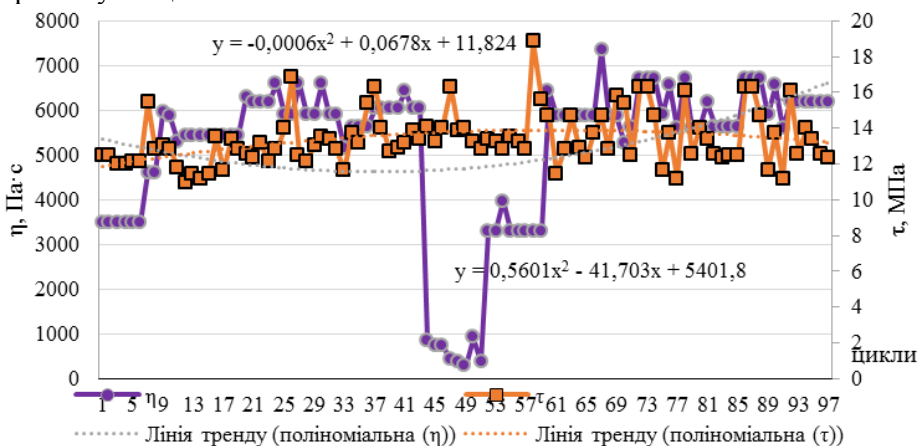


Рис. 4. Кінетика зміни ефективної в'язкості оливи (η) та напруження зсуву мастильного шару (τ) в контакті

Протизношувальні характеристики оливи характеризуються наступними показниками. Загальний лінійний знос роликів зі сталі 40ХН становить 4,9 мкм. Знос відстаючої поверхні в 2,38 разів перевищує знос випереджаючої поверхні, що обумовлено, за теорією К.Т. Трубіна [6], зниженням межі витривалості відстаючої поверхні внаслідок зростання швидкості втомного руйнування в умовах різновекторного направлення сил тертя в контактні на випереджаючій та відстаючій поверхнях (рис. 5).

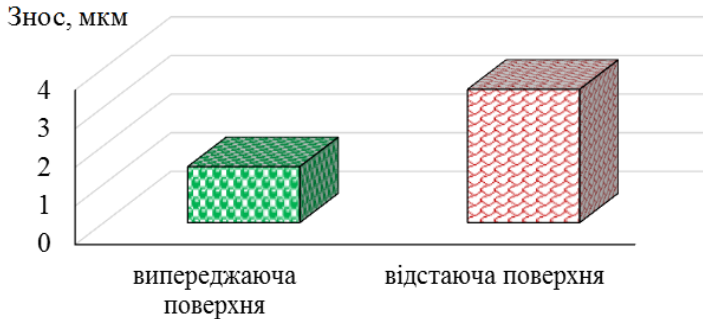


Рис. 5. Лінійний знос контактних поверхонь при напрацюванні

Аналогічно і інтенсивність зношування відстаючої поверхні збільшується в 3,47 разів, в порівнянні з випереджаючою. Незважаючи на це, інтенсивність зношування випереджаючої і відстаючої поверхонь становить $1,57875 \cdot 10^{-10}$ та $5,49363 \cdot 10^{-10}$ відповідно, що свідчить про високу зносостійкість контактних поверхонь та ефективні протизношувальні характеристики досліджуваної оливи (таблиці). Перш за все, це забезпечується наявністю в досліджуваному мастильному матеріалі оливи для гіпоїдних передач ТСгіп, яка містить ефективні протизадирні присадки.

Важливе значення для прогнозування зносостійкості контактних поверхонь в період експлуатації має приділятися міцністним характеристикам поверхневих шарів металу. Після напрацювання 100 циклів встановлено зниження мікротвердості сталі 40ХН в 1,58 та в 1,66 разів для випереджаючої та відстаючої поверхонь відповідно. Зменшення поверхневих шарів металу обумовлено проявом ефекту Ребіндера – адсорбційною пластифікацією твердих тіл під дією поверхнево - активних речовин оливи (рис. 6).

H_{100} , МПа

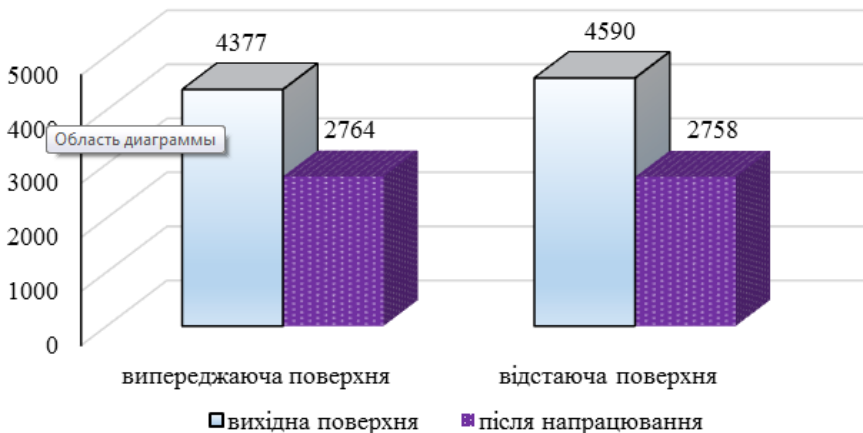


Рис. 6. Мікротвердість поверхневих шарів сталі 40ХН

Таблиця

Узагальнені результати триботехнічних параметрів

Показник	Антифрикційні, змащувальні та реологічні характеристики	
	Температура мастильного матеріалу, °C	
	20	100
Коефіцієнт тертя	0,016 – 0,023	0,015 – 0,026
Товщина граничних адсорбційних шарів, мкм	0,53 – 2,9	0,398 – 3,58
Загальна товщина мастильного шару в контакті, мкм	4,5 – 10,36	4,78 – 10,36
Режим мащення при пуску	1,1 (граничний) – 6 (гідродинамічний)	0,82 (напівсухий) – 7,73 (гідродинамічний)
Режим мащення при максимальних обертах	9 – 21 (гідродинамічний)	9 – 21 (гідродинамічний)
Напруження зсуву масляного шару, МПа	10,91 – 16,29	11,17 – 18,85
Ефективна в'язкість в контакті, Па·с	3477 – 6581	3326 – 7368
Питома робота тертя, Дж/мм ²	1186 – 5275	4147 – 6328
Протизношувальні характеристики		
Сумарний лінійний знос дослідних зразків, мкм	4,9	
Лінійний знос, мкм	Випереджаюча поверхня	Відстаюча поверхня
	1,45	3,45
Інтенсивність зношування	$1,57875 \cdot 10^{-10}$	$5,49363 \cdot 10^{-10}$
Зносостійкість	$6,33 \cdot 10^9$	$1,82 \cdot 10^9$
Мікротвердість дослідних зразків (сталь 40ХН)		
Мікротвердість поверхні до експерименту (вихідна), МПа	4377	4590
Мікротвердість поверхні після 100 циклів напрацювання, МПа	2764 (знеміцнення)	2758 (знеміцнення)

Товщина пластифікованого шару може складати до 0,1 мкм. Дане явище позитивно впливає на триботехнічні процеси в контакті, оскільки забезпечується зменшення поверхневої енергії контактних поверхонь при адсорбції активних компонентів присадки оливи та формуванні граничних адсорбційних шарів як фізичної, так і хімічної природи. Це призводить до підвищення зносостійкості контактних поверхонь за рахунок зниження опору поверхневого шару твердого тіла пластичному деформуванню, полегшення пластичного зсуву у зернах та виходу дислокацій на поверхню, утворення більш дрібнозернистої структури.

Висновки

Запропонована методика контролю та діагностики експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів дозволяє оцінити їх змащувальні, антифрикційні, протизношувальні та реологічні характеристики. Розроблений програмно-апаратний комплекс для оцінки триботехнічних характеристик трибоелементів в режимі on-line забезпечує контроль кінетики зміни моменту тертя, температури мастильного матеріалу, швидкості обертання контактних поверхонь, товщини мастильного шару. Проведена оцінка оливи «Бора Б» СМ-9 за запропонованою методикою та встановлено, що досліджуваний мастильний матеріал характери-

зується ефективними змащувальними, антифрикційними, протизношувальними та реологічними характеристиками в нестационарних умовах тертя в режимі ковчання з проковзуванням (30%).

Список літератури

1. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных материалов по параметрам термоокислительной стабильности и температурной стойкости [Электронный ресурс]: монография / Ю. Н. Безбородов, Б. И. Ковальский, Н. Н. Малышева, А. Н. Сокольников, Е. Г. Мальцева. — Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. — 367 с. — ISBN 978-5-7638-2225-0. — Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/213853>
2. Ludwig M. Simulation of Dynamic Lubricant Effects in Sheet Metal Forming Processes / M. Ludwig, C. Müller, P. Groche // Key Engineering Materials. — 2010. — Vol. 438. — P. 171-178.
3. Simulation of Tribosystems and Tribometry / F. Franek, G. Vorlaufer, W. Edelbauer, S. Bukovnik // Tribology in industry. — 2007. — Vol. 29, № 1-2. — P. 3-12.
4. Патент 88748, Україна, МПК G01N 3/56. Пристрій для оцінки триботехнічних характеристик трибоелементів / Мікосянчик О. О.; заявник та патентовласник Мікосянчик О. О. — № у 2013 13450; заявл. 19.11.2013; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6. — 4 с.
5. Патент 89261, Україна, МПК G01N 11/00. Спосіб оцінки динамічної ефективності в'язкості мастильних матеріалів в триботехнічному контакті / Мікосянчик О. О., Мнацаканов Р. Г., Кіндрачук М. В.; заявник та патентовласник Мікосянчик О. О., Мнацаканов Р. Г., Кіндрачук М. В. — № у 2013 14086; заявл. 04.12.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7. — 4 с.
6. Трибология – машиностроению : Труды XI международной научно-технической конференции. — М.: Институт компьютерных исследований, 2016. — 290 с.

Стаття надійшла до редакції 11.02.2021.

Мнацаканов Рудольф Георгійович – д. техн. наук, професор, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 76 70, E-mail: mnatsakanov@ukr.net.

Мікосянчик Оксана Олександрівна – д. техн. наук, професор, професор кафедри Машинознавства, стандартизації та сертифікації, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 77 70, E-mail: oksana.mikos@ukr.net.

Якобчук Олександр Євгенійович – старший викладач кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 72 58, E-mail: a-yak@ukr.net.

Хімко Андрій Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 72 58, E-mail: andreykhimko@ukr.net.

Токарук Віталій Володимирович – старший викладач кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 78 56, E-mail: vetalion1980@gmail.com.

O. O. MIKOSIANCHYK, R. G. MNATSAKANOV, O. YE. YAKOBCHUK, A. M. KHIMKO,
V. V. TOKARUK

DEVELOPMENT OF METHODS OF MONITORING AND DIAGNOSTICS OF OPERATIONAL PROPERTIES OF LUBRICANTS ACCORDING TO TRIBOTECHNICAL PARAMETERS

The application of software and hardware complex for evaluation of tribotechnical characteristics of triboelements is offered. The developed software and hardware complex for evaluation of tribotechnical characteristics of triboelements in the on-line mode provides control of kinetics of change of the moment of friction, temperature of the lubricant, speed of rotation of contact surfaces, the thickness of a lubricating layer. The advantages of the developed method of monitoring and diagnostics of operational properties of lubricants are the continuous evaluation of their lubricating, antifriction, wear-resistant and rheological characteristics in non-stationary friction conditions. The oil "Bora B" SM-9 were used to the appropate proposed method. Effective lubricating and antifriction properties characterize the investigated oil «Bora B» SM-9 both during start-up and at the studied maximum frequency of revolutions of friction pairs, providing the mainly hydrodynamic mode of lubrication in contact. The high effective viscosity characterizes the lubricant despite the high gradients of the shear rate in contact. It indicates the resistance of the components of the oil to destruction under conditions of increasing shear rate gradient. The high wear resistance of steel 40XH is established, which is caused by the presence in the investigated lubricant of oil for hypoid gears TSgip. The effective tearing-protection additives in oil promote the formation of boundary adsorption layers on the friction-activated metal surface. These components lead to adsorption plasticization of the surface layers of the metal and increase their wear resistance. The considered technique can be applied to an estimation of operational properties of lubricants in a wide range of loading, kinematic and temperature factors.

Key words: technique, lubricating layer, antifriction properties, lubrication mode, wear, microhardness.

Referenses

1. Metody kontrolya i diagnostiki ekspluatatsionnykh svoystv smazochnykh materialov po parametram termookislitel'noy stabil'nosti i temperaturnoy stoykosti [Elektronnyy resurs]: monografiya / YU. N. Bezborodov, B. I. Koval'skiy, N. N. Malysheva, A. N. Sokol'nikov, Ye. G. Mal'tseva. — Krasnoyarsk : Sib. feder. un-t, 2011. — 367 s. — ISBN 978-5-7638-2225-0. — Rezhim dostupa: <https://rucont.ru/efd/213853>
2. Ludwig M. Simulation of Dynamic Lubricant Effects in Sheet Metal Forming Processes / M. Ludwig, C. Müller, P. Groche // Key Engineering Materials. – 2010. – Vol. 438. – P. 171-178.
3. Simulation of Tribosystems and Tribometry / F. Franek, G. Vorlauffer, W. Edelbauer, S. Bukovnik // Tribology in industry. – 2007. – Vol. 29, № 1-2. – P. 3-12.
4. Patent 88748, Ukrayina, MPK G01N 3/56. Prystriy dlya otsinky trybotekhnichnykh kharakterystyk tryboelementiv / Mikosyanchyk O. O.; zayavnyk ta patentovlasnyk Mikosyanchyk O. O. – № u 2013 13450; zayavl. 19.11.2013; opubl. 25.03.2014, Byul. № 6. – 4 s.
5. Patent 89261, Ukrayina, MPK G01N 11/00. Sposib otsinky dynamichnoyi efektyvnosti v"yazkosti mastyl'nykh materialiv v trybotekhnichnomu kontakti / Mikosyanchyk O. O., Mnatsakanov R. H., Kindrachuk M. V.; zayavnyk ta patentovlasnyk Mikosyanchyk O. O., Mnatsakanov R. H., Kindrachuk M. V. – № u 2013 14086; zayavl. 04.12.2013; opubl. 10.04.2014, Byul. № 7. – 4 s.
6. Tribologiya – mashinostroyeniye : Trudy XI mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. — M.: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2016. — 290 s.