

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.4(93).16255

О. А. ІЛЬІНА, О. О. МІКОСЯНЧИК, Р. Г. МНАЦАКАНОВ, В. Б. МЕЛЬНИК,  
О. В. ПЕЧЕРИШНИЙ

*Національний авіаційний університет, Україна*

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ АВІАЦІЙНИХ ОЛИВ ЗА ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ТА ПРОТИЗНОШУВАЛЬНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

*Проведено оцінку товарних партій авіаційних гідравлічних олив за експлуатаційними показниками. На основі аналізу антифрикційних, реологічних, енергетичних та протизношувальних характеристик гідравлічних олив визначено найбільш значимі показники, які впливають на лінійний знос контактних поверхонь та одержана емпірична формула визначення даного параметру. Встановлено, що до найбільш значимих триботехнічних показників, які впливають на знос трибоелементів в нестационарних умовах тертя, відносяться питома робота тертя, коефіцієнт тертя, ефективна в'язкість та об'ємна температура оливи в контакті та товщина граничних шарів мастильного матеріалу.*

**Ключові слова:** гідравлічна олива, антифрикційні властивості, питома робота тертя, знос, мікротвердість.

**Вступ та постановка задач дослідження.** Забезпечення найвищих показників надійності на всіх етапах життєвого циклу повітряних суден (ПС) безпосередньо пов'язано з питаннями якісного проведення контролю, діагностування, профілактичного забезпечення та ремонту авіаційної техніки. Роль проблеми забезпечення надійності сучасних ПС зростає внаслідок їх ускладнення, постійного збільшення навантажень та інтенсивності використання, значного розширення діапазону умов експлуатації та галузей застосування, підвищення рівня автоматизації ПС. До одних з найважливіших питань забезпечення надійної роботи вузлів ПС слід віднести застосування високоякісних мастильних матеріалів. Якісний аналіз авіаційних мастильних матеріалів є важливим інструментом технічного обслуговування повітряних суден, який має ґрунтуватися на спеціально розроблених тестових методиках оцінки їх фізико-хімічних та експлуатаційних показників. Актуальним аспектом оцінки якості авіаційних мастильних матеріалів є розширення нормованого переліку їх показників, до яких можна віднести триботехнічні властивості мастильних матеріалів. Удосконалення останніх насамперед має бути направлено на захист основних функціональних вузлів і механізмів від передчасного зносу, деформацій і корозії.

**Аналіз останніх публікацій з даної проблеми.** Гідравлічні агрегати і пристрої застосовують на сучасних ПС досить широко. Гідравлічна система (ГС) літака забезпечує управління системами та механізмами, що визначають безпеку польоту. Гідравлічні системи призначені для управління стабілізатором та рулями, для прибирання та випуску шасі, злітно-посадкової механізації та ін. Головний недолік ГС - робота агрегатів системи під високим тиском: тут переважає підвищене зношування деталей, в результаті якого відбувається забруднення робочої рідини, тому гідравлічна система повинна піддаватися своєчасному технічному обслуговуванню [1]. Умови роботи гідравлічних рідин у гідросистемах характеризуються такими параметрами: тиск – 20 МПа; діапазон

робочих температур від  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80 \dots 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; швидкості ковзання пар тертя становить  $20..25\text{ м/с}$  [2].

На характер роботи ГС та її надійність суттєво впливають властивості робочої рідини. Оливи для авіаційних гідравлічних систем повинні володіти оптимальним рівнем в'язкості, високими в'язкісно-температурними властивостями в широкому діапазоні температур, стійкістю до окислення і антипінними властивостями. Оливи також повинні мати достатній рівень трибологічних характеристики і бути сумісними з конструкційними і ущільнювальними матеріалами вузлів і агрегатів гідравлічної системи. Знижена в'язкість гідравлічної оливи обумовлює найбільш інтенсивний прояв втомних видів зношування контактуючих деталей гідросистеми. Підвищена в'язкість значно збільшує механічні втрати приводу, ускладнює відносне переміщення деталей насоса і клапанів, унеможлиблює роботу гідросистем в умовах знижених температур.

В роботі [3] проведено аналіз властивостей гідравлічних рідин, що використовується в літаках сімейства А320 та надані рекомендації щодо визначення інтервалу їх заміни. Однак, дослідження якості експлуатаційних олив базувалися на оцінці фізико-хімічних показників мастильних матеріалів – кислотного числа, густини, наявності домішок та кінематичної в'язкості олив. В наданих рекомендаціях щодо термінів заміни гідравлічних олив не приділяється увага оцінці триботехнічних показників розглянутих матеріалів.

В роботі [4] проаналізовано, що олива АМГ-10, як і інші гідравлічні рідини із загусником базової фракції, у процесі роботи піддаються механічній деструкції, що призводить до падіння їх в'язкості. Інтенсивність механічної деструкції залежить умов експлуатації; температури, тиску в системі та характеру його перепадів при роботі, від конструкції насоса, його продуктивності, а також від об'єму робочої рідини. У гідросистемах сучасних ПС термін служби АМГ-10 різко скорочується і може становити трохи більше 100 - 200 год. В даний час експлуатація оливи АМГ-10 проводиться до падіння її кінематичної в'язкості при  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $7\text{ мм}^2/\text{с}$  (сСт) і появи в ній механічних домішок вище допустимої норми.

Встановлено [5], що необоротне зниження в'язкості обумовлено механічним руйнуванням (деструкцією) основи рідини або присадки, що застосовується для поліпшення в'язкісно-температурних властивостей, і зазвичай властиво рідинам, що мають великі молекули з довгими ланцюжками. При зміні температури з мінус  $60^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$  в'язкість зазвичай зменшується від  $3000..4000$  до  $5..10$  сСт, що необхідно враховувати при проектуванні та моніторингу стану ГС, застосовуючи відповідні конструктивні заходи щодо нагрівання або охолодження рідини.

Проведені дослідження щодо визначення експлуатаційного стану авіаційних гідравлічних рідин з ефірів фосфорної кислоти на основі принципу зондування із застосуванням інфрачервоного неруйнівного поглинання, які встановили FTIR-спектри ліній поглинання, що залежать від типу забруднення [6]. Такі спектри відповідають двом важливим параметрам хімічного забруднення гідравлічних рідин – утворення води та кислоти, що можна відстежувати за змінами смуг валентних коливань О-Н у середньому інфрачервоному діапазоні від  $3,12$  до  $2,63$  мкм. Спроековано сенсорну систему для онлайн-моніторингу стану гідравлічних рідин, чутливість якої з виявлення води становить  $0 - 1,5\%$ , що відповідає діапазону забруднення води, яке може виникнути при практичній експлуатації літака. При цьому доступний діапазон виявлення загального кислотного числа становить  $0 - 1\text{ мг КОН/г}$ , що менше, ніж максимальне нормоване значення допустимого загального кислотного числа при заміні оливи, яке становить  $1,5\text{ мг КОН/г}$ .

У роботі [7] представлена оцінка ступеня деградації та метод прогнозування терміну служби гідравлічної системи, які засновані на оцінці швидкості ерозійного зносу залежно від ступеня забрудненості оливи.

Важливим чинником забезпечення високої роботоздатності вузлів тертя є якісний вибір мастильних матеріалів з високими змащувальними, антифрикційними та протизношувальними характеристиками [8]. Аналіз публікацій щодо оцінки зазначених характеристик оливи для гідравлічних систем показав, що комплексних досліджень в цьому напрямку не проводилося. Серед різних виробників товарних партій оливи важливо підібрати такий мастильний матеріал, який відповідає не лише заявленим фізико-хімічним характеристикам, але й володіє ефективними триботехнічними властивостями. Однак, для широкого спектру мастильних матеріалів не нормуються триботехнічні показники. Тому розробка методик оцінки якості мастильних матеріалів в триботехнічному контакті є актуальним напрямком досліджень, за результатами яких можливо надати рекомендації щодо роботоздатності оливи в певних експлуатаційних режимах.

**Мета роботи** – провести оцінку товарних партій авіаційних гідравлічних оливи за експлуатаційними показниками.

**Методика проведення експерименту.** Досліджувані оливи:

– зразок №1 – олива «Бора Б» АМГ-10 за ТУ У 19.2-38474081-010:2016 зі зм. 1 (виробництво ТОВ «Бора Б», Україна);

– зразок №2 – олива АМГ-10 за ГОСТ 6794-75 зі зм. 1 – 5 (виробництво ООО «НПП Квалитет»).

Зразок №1 розроблено з метою організації робіт з імпортозаміщення та подолання критичної залежності оборонної промисловості України від імпортних поставок оливи АМГ-10.

Дослідження мастильних матеріалів дослідних зразків проводиться на програмно-апаратному комплексі для оцінки триботехнічних характеристик трибоелементів, для якого розроблено програмне забезпечення керування кроковими двигунами та візуальної оцінки кінетики зміни основних триботехнічних показників трибоконтакту в режимі on-line [9].

На програмно-апаратному комплексі за допомогою роlikової аналогії моделюється робота зубчастих передач в умовах кочення з проковзуванням. Методики визначення триботехнічних характеристик вузла тертя при використанні досліджуваного мастильного матеріалу:

– 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);

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

– 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).

В якості матеріалу контактних поверхонь використовувались ролики – сталь 30ХГСА (HRC 48-52, Ra 0,34 мкм). Змащування контактних поверхонь здійснювалось шляхом занурення нижнього ролика в ванночку з оливою.

Дослідження проводились в нестационарних умовах, що передбачають циклічність повторення в режимі пуск – стаціонарна робота – гальмування – зупинка. Загальна тривалість циклу – 80 с.

Максимальна частота обертів: для випереджаючої поверхні – 700 об/хв, для відстаючої поверхні – 500 об/хв. Проковзування – 30%. Максимальне контактне навантаження по Герцу – 200 МПа. Загальна кількість циклів в експерименті: 100 циклів (з 1-го по 45 цикл – температура оливи 20 °С, з 46 по 50 цикл – нагрівання оливи, з 51 по 100 цикл - температура оливи 100 °С).

**Обговорення основних результатів.** Досліджувані зразки олив характеризуються ефективними антифрикційними характеристиками. Зразок №1 та зразок №2 проявляють високі припрацьовуючі властивості (рис. 1).

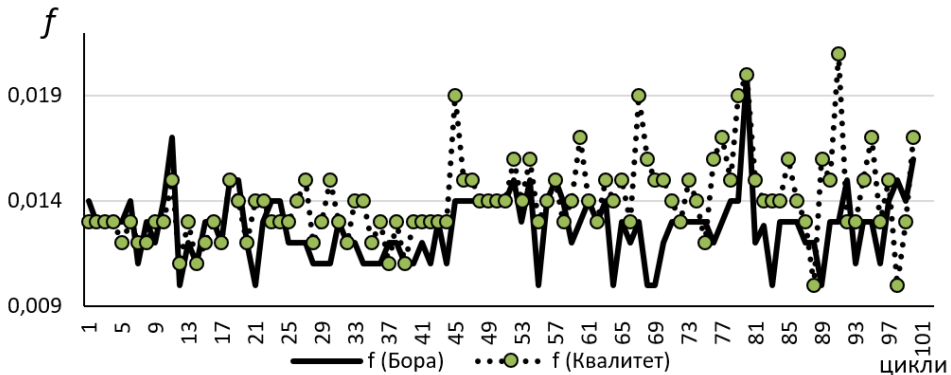


Рис. 1. Кінетика зміни коефіцієнта тертя

Для зразка №1 середні значення коефіцієнту тертя становлять 0,012 та 0,013 при температурі оливи 20 та 100 °С відповідно, коефіцієнт тертя стабільний, діапазон коливань даного параметру знаходиться в межах 0,01...0,02. Підвищення коефіцієнта тертя в 1,17 рази на 45 – 49 циклах обумовлено зміною природи граничних шарів при підвищенні температури мастильного матеріалу. При збільшенні температури в умовах експерименту подальша стабілізація коефіцієнту тертя свідчить про ефективну структурну пристосованість трибоконтакту в нестационарних умовах роботи.

Для зразка №2 середні значення коефіцієнту тертя становлять 0,0129 та 0,0148 при температурі оливи 20 та 100 °С відповідно. Якщо при температурі оливи 20 °С коефіцієнт тертя аналогічний показнику для зразка №1, то при підвищенні температури оливи до 100 °С даний показник в 1,13 разів перевищує показник, встановлений для зразка №1. Зростання температури оливи призводить до збільшення коефіцієнта тертя в 1,46 рази на 45-49 циклах наробітки. Стрибокподібне підвищення коефіцієнту тертя до 0,019 – 0,021 в 10% циклів наробітки свідчить про деструкцію граничних шарів мастильного матеріалу та перехід трибосистеми в напівсухий режим мащення.

До важливого експлуатаційного показника триботехнічного контакту, що характеризує дисипативні процеси та енергонавантаженість фрикційного контакту, відноситься параметр питомої роботи тертя ( $A_{\text{терт}}$ ).

Одержані експериментальні значення  $A_{\text{терт}}$  для зразка №1 в діапазоні 1055 – 7419 Дж/мм<sup>2</sup> характеризують умови роботи трибосистеми з середнім проявом енергетичних процесів в триботехнічному контакті (рис. 2). З підвищенням температури оливи з 20 до 100 °С, при переході трибосистеми в більш складні умови тертя, питома робота тертя незначно зростає, в середньому, в 1,1 рази. При підвищенні температури мастильного матеріалу зриву мастильного шару не встановлено, досліджуваний мастильний матеріал за таких умов забезпечує реалізацію в контакті переважно змішаного режиму мащення при пуску.

Для зразка №2 питома робота тертя в контакті в початковий період припрацювання тривалістю до 5 циклу характеризується показниками на рівні 7880 – 5000 Дж/мм<sup>2</sup>, що, в середньому, в 2 рази перевищує аналогічний параметр, встановлений для зразка №1. При подальшому напрацюванні при 20°С питома робота становить, в середньому, 3578 Дж/мм<sup>2</sup>, що в 1,49 разів вище, в порівнянні з зразком №1. Із збільшенням об'ємної температури оливи до 100 °С питома робота тертя незначно зростає та становить, в середньому, 4329 Дж/мм<sup>2</sup>, що в 1,62 рази вище, в порівнянні з зразком №1. Зафіксовано періодичні стрімкі періоди підвищення  $A_{\text{терт}}$  в контакті в 2.....3,5 рази, що свідчить про інтенсифікацію енергетичних процесів як на межі мастильний матеріал – метал, так і в поверхневих шарах металу. Дані процеси зазвичай призводять до інтенсифікації зношування пар тертя, що, в свою чергу, є головною передумовою для зниження ресурсу трибосистеми.

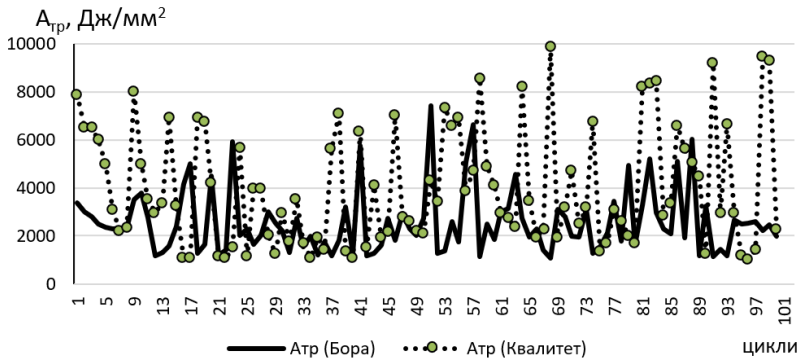


Рис. 2. Кінетика зміни питомої роботи тертя ( $A_{\text{тр}}$ ) при напрацюванні

Загальний лінійний знос роликів зі сталі 30ХГСА становить 2,31 мкм та 3,63 мкм при змащуванні пар тертя відповідно оливою зразок №1 та зразок №2, при використанні оливи зразок №2 знос пар тертя зростає в 1,57 разів (рис. 3).

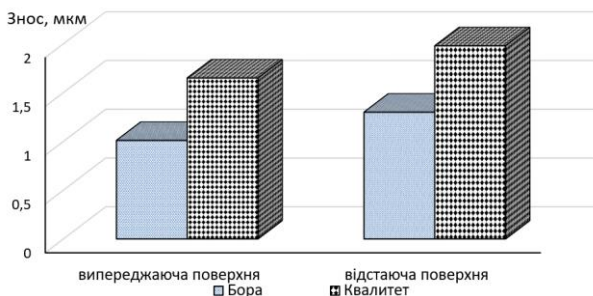


Рис. 3. Знос контактних поверхонь при напрацюванні

Знос відстаючої поверхні в 1,29 (зразок №1) та в 1,2 (зразок №2) разів перевищує знос випереджаючої поверхні, що обумовлено, за теорією К.Т. Трубіна, зниженням межі витривалості відстаючої поверхні внаслідок зростання

швидкості втомного руйнування в умовах різновекторного направлення сил тертя в контактні на випереджаючій та відстаючій поверхнях.

Інтенсивність зношування як випереджаючої, так і відстаючої поверхонь характеризується низькими значеннями, що свідчить про високу зносостійкість контактних поверхонь та ефективні протизношувальні характеристики досліджуваних олив. При змащуванні пар тертя зразком №2 інтенсивність зношування випереджаючої та відстаючої поверхонь зростає в 1,63 та в 1,52 разів відповідно, в порівнянні з зразком №1.

Зміна мікротвердості поверхневих шарів сталі 30ХГСА при напрацюванні 100 циклів залежить від типу досліджуваного матеріалу та відрізняється реалізацією протилежно протікаючих процесів. При використанні в якості мастильного матеріалу зразка №1 зафіксовано зміцнення як випереджаючої, так і відстаючої поверхні. Зокрема, мікротвердість поверхневих шарів металу підвищується на 512 та 517 МПа для випереджаючої та відстаючої поверхонь відповідно (рис. 4). При змащуванні пар тертя зразком №2 встановлено зменшення поверхневих шарів металу для випереджаючої поверхні (зниження мікротвердості після напрацювання складо 696 МПа), а для відстаючої поверхні встановлено зміцнення поверхневих шарів металу (збільшення мікротвердості після напрацювання складо 444 МПа).

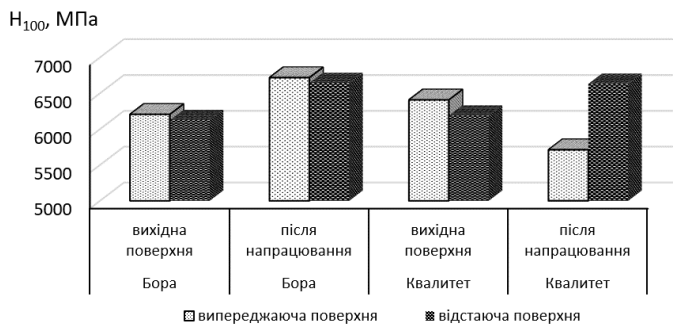


Рис. 4. Мікротвердість вихідної поверхні та після 100 циклів нарботітки дослідних зразків

За рецептурами виробників дослідних зразків №1 та №2 в них ідентичні базова основа (мінеральна олива на основі глибокодеароматизованої низькозастигаючої фракції, яка одержується з продуктів гідрокрекінгу суміші парафінистих нафт і складається з нафтових і ізопарафінових вуглеводнів), загущуюча присадка, спеціальний оливоорозчинний барвник червоного кольору. Виробник дослідного зразка №1 заявляє про наявність в оливі комплексу багатофункціональних присадок, виробник дослідного зразка №2 заявляє про наявність в оливі лише антиокислювальної присадки.

Саме склад активних компонентів присадок зразків №1 та №2 впливає на кінетику зміни мікротвердості поверхневих шарів при їх активації в процесі тертя. Присадки, наявні в зразку №1, характеризуються більш ефективними протизношувальними властивостями та обумовлюють підвищення зносостійкості контактних поверхонь в умовах кочення з проковзуванням.

Проведений аналіз основних триботехнічних характеристик досліджуваних гідравлічних олив визначив найбільш значимі показники, які впливають на лінійний знос контактних поверхонь. Оскільки експерименти проводились в нестационарних умовах тертя, при мінливості показників залежно від циклів напрацювання, аналізувався діапазон зміни кожного параметра. До найбільш впливових з них відносяться максимальна питома робота тертя ( $A_{\text{терт. макс}}$ ),

мінімальний коефіцієнт тертя ( $f_{\min}$ ), мінімальна ефективна в'язкість оливи в контактї ( $\eta_{\text{еф.мін}}$ ), мінімальна товщина граничних шарів мастильного матеріалу ( $h_{\text{гран.мін}}$ ) та об'ємна температура оливи ( $t$ ). Одержана емпірична залежність лінійного зносу пар тертя ( $I$ ) від зазначених параметрів:

$$I = (A_{\text{терт.макс}}^{0,6} \times f_{\min}) / (\eta_{\text{еф.мін}}^{0,125} \times h_{\text{гран.мін}}^{0,5} \times t^{0,18}). \quad (1)$$

Розрахункові значення лінійного зносу контактних поверхонь в нестационарних умовах тертя, одержані за формулою (1), представлені на рис. 5.

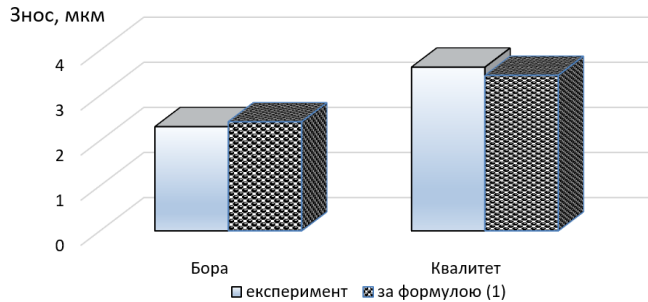


Рис. 5. Загальний лінійний знос випереджаючої та відстаючої поверхонь при змащуванні гідравлічною оливою АМГ-10 виробників Бора та Квалитет

Досить хороша збіжність результатів вимірювань (95-97%) експериментальних показників зносу сталі 30ХГСА при змащуванні гідравлічною оливою АМГ-10 та оцінка зносу за емпіричною розрахунковою формулою дає можливість прогнозувати протизношувальні властивості мастильного матеріалу в нестационарних умовах роботи трибосистеми.

**Висновки.** Проведені дослідження на програмно-апаратному комплексі за допомогою роликів аналогії моделювали роботу зубчастих передач в умовах кочення з проковзуванням. Похибки одержаних експериментальних значень досліджуваних показників знаходяться в межах 7 – 10 %. Зразок олива «Бора Б» АМГ-10 (виробництво: ТОВ «Бора Б», ТУ У 19.2-38474081-010:2016 зі зм. 1) характеризується більш ефективними триботехнічними характеристиками в нестационарних умовах тертя в режимі кочення з проковзуванням (30%), в порівнянні з оливою АМГ-10 (виробництво: ООО «НПП Квалитет», ГОСТ 6794-75 изм. 1 – 5) за наступними параметрами:

1. Антифрикційні властивості. Для оливи «Бора Б» АМГ-10 середні значення коефіцієнту тертя становлять 0,012 та 0,013 при температурі оливи 20 та 100 °С відповідно, коефіцієнт тертя стабільний.

2. Енергетичні характеристики. Питома робота тертя в фрикційному контактї при використанні оливи «Бора Б» АМГ-10 знаходиться в діапазоні 1055 – 7419 Дж/мм<sup>2</sup>, що характеризує умови роботи трибосистеми з середнім проявом енергетичних процесів в триботехнічному контактї.

3. Протизношувальні характеристики. Присадки, наявні в оливі «Бора Б» АМГ-10, характеризуються більш ефективними протизношувальними властивостями та обумовлюють підвищення зносостійкості контактних поверхонь в умовах кочення з проковзуванням за рахунок зміцнення поверхневих шарів металу при напрацювання.

На основі аналізу основних триботехнічних характеристик досліджуваних гідравлічних олив визначено найбільш значимі показники, які впливають на лінійний знос контактних поверхонь та одержана емпірична залежність лінійного зносу пар тертя, за якою можливо прогнозувати роботу трибоелементів в нестационарних умовах роботи.

## Список літератури

1. Ткачева, В. Р. Гидравлическая система летательных аппаратов: вертолета и самолета / В. Р. Ткачева // Технические науки: проблемы и перспективы : материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2016 г.). – 2016. – С. 69-74.
2. Коняев Е.А., Немчиков М.Л. Авиационные горюче-смазочные материалы: учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2013. -80 с.
3. Obergruber M., Hönl V., Procházka P., Táborský J. Diagnostics of hydraulic fluids used in aviation/ M. Obergruber, V. Hönl, P. Procházka, J. Táborský // Agronomy Research. – 2018. – 16(S1). – P. 1133-1141. <https://doi.org/10.15159/AR.18.122>
4. Шумилов И. С., Чурсова Л. В., Седова Л. С. Рабочие жидкости авиационных гидросистем, их свойства. / И. С. Шумилов, Л. В. Чурсова, Л. С. Седова // Наука и образование. – 2014. – Эл. № ФС77-4. – С. 187-226. DOI: 10.7463/0414.0705577
5. Шумилов И. С. Системы управления рулями самолетов: учеб. пособие для вузов / И. С. Шумилов - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. - 469с.
6. Paul S. Optochemical sensor systems for aerospace applications Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Physik der Justus Liebig Universität, Gießen zur Erlangung des akademischen Grades eines. – 2014. – 154 p. <https://d-nb.info/1068772816/34>
7. Zhang K., Yao J., Jiang T. Degradation assessment and life prediction of electro-hydraulic servo valve under erosion wear / K. Zhang, J. Yao, T. Jiang // Engineering Failure Analysis. – 2014. - Vol. 36. - P. 284-300.
8. Ilina O.A., Mikosianchyk O.O., Mnatsakanov R.H., Yakobchuk O.Ye. Development of methods for evaluation of lubrication properties of hydraulic aviation oils / O.A. Ilina, O.O. Mikosianchyk, R.H. Mnatsakanov, O.Ye. Yakobchuk // Problems of Tribology. – 2021. - V. 26, No 3/101. – P.42-47
9. Mikosianchyk O.O., Yakobchuk O.Ye., Mnatsakanov R. H., Khimko A.M. Evaluation of operational properties of aviation oils by tribological parameters / O.O. Mikosianchyk, O.Ye. Yakobchuk, R. H. Mnatsakanov, A.M. Khimko // Problems of Tribology. – 2021. - V. 26, No 1/99. – P.43-50.

Стаття надійшла до редакції 01.12.2021.

**Ільїна Ольга Андріївна** – аспірант кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 77 70, E-mail: [ilivna19930@gmail.com](mailto:ilivna19930@gmail.com).

**Мікосянчик Оксана Олександрівна** – д. техн. наук, професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 77 70, E-mail: [oksana.mikos@ukr.net](mailto:oksana.mikos@ukr.net).

**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](mailto:mnatsakanov@ukr.net).

**Мельник Володимир Борисович** – к. техн. наук, доцент, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 74 14, E-mail: [elnikvb408@gmail.com](mailto:elnikvb408@gmail.com).

**Печеришний Олександр Валерійович** – студент, група ТО-205Б, кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058



O. A. ILINA, O. O. MIKOSIANCHYK, R. H. MNATSAKANOV, V. B. MELNYK,  
O. V. PECHERYSHNYI

### QUALITY ASSESSMENT OF HYDRAULIC AVIATION OILS BY ENERGY AND WEAR INDICATORS

The assessment of aviation hydraulic oils is carried out based on operational indicators in non-stationary conditions of friction. The research is conducted on the software-based complex using a roller analogy simulated the operation of gears in rolling conditions with slipping. It is determined that the oil «Bora Б» AMG-10 (production: LLC «Bora Б», Technical Specification Ukraine 19.2-38474081-010: 2016 with change 1) is characterized by more effective tribotechnical characteristics, in comparison with AMG-10 oil (production: LLC "NPP Kvalitet", GOST 6794-75 amended 1 – 5) for antifriction, energy and anti-wear characteristics. For oil «Bora Б» AMG-10, the average values of the coefficient of friction are 0.012 and 0.013 at oil temperature of 20 and 100 °C, respectively, the coefficient of friction is stable; the specific work of friction in the friction contact is in the range of 1055 – 7419 J/mm<sup>2</sup>, which characterizes operating conditions of the tribosystem with the average manifestation of energy processes in the tribotechnical contact. The findings suggest that the additives present in the oil «Bora Б» AMG-10, are characterized by more effective anti-wear properties and increase the wear resistance of contact surfaces in rolling conditions due to slipping by strengthening the surface layers of the metal during operation. Based on the analysis of the performance characteristics of hydraulic oils, the most significant indicators that affect the linear wear of the contact surfaces are determined and the empirical formula for determining this parameter is obtained. It is defined that the most significant tribotechnical indicators that affect the wear of triboelements in non-stationary friction conditions are specific friction work, friction coefficient, effective viscosity and volumetric temperature of oil in contact, and thickness of boundary layers of lubricant.

**Key words:** hydraulic oil, antifriction properties, specific friction work, wear, microhardness.

#### Referenses

1. Tkacheva, V. R. Gidravlicheseskaja sistema letatel'nyh apparatov: vertoleta i samoleta / V. R. Tkacheva // *Tehnicheskie nauki: problemy i perspektivy : materialy IV Mezhdunar. nauch. konf. (g. Sankt-Peterburg, ijul' 2016 g.)*. – 2016. – S. 69–74.
2. Konjaev E.A., Nemchikov M.L. *Aviacionnye gorjuče-smazochnye materialy: uchebnoe posobie*. – M.: MGTU GA, 2013. – 80 s.
3. Obergruber M., Hönig V., Procházka P., Táborský J. Diagnostics of hydraulic fluids used in aviation / M. Obergruber, V. Hönig, P. Procházka, J. Táborský // *Agronomy Research*. – 2018. – 16(S1). – P. 1133-1141. <https://doi.org/10.15159/AR.18.122>
4. Shumilov I. S., Chursova L. V., Sedova L. S. Rabochie zhidkosti aviacionnyh gidrosistem, ih svojstva. / I. S. Shumilov, L. V. Chursova, L. S. Sedova // *Nauka i obrazovanie*. – 2014. – Jel. № FS77-4. – S. 187-226. DOI: 10.7463/0414.0705577
5. Shumilov I. S. *Sistemy upravlenija ruljami samoletov: ucheb. posobie dlja vuzov* / I. S. Shumilov - M. : Izd-vo MGTU im. N. Je. Baumana, 2009. - 469s.
6. Paul S. *Optochemical sensor systems for aerospace applications* Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Physik der Justus Liebig Universität, Gießen zur Erlangung des akademischen Grades eines. – 2014. – 154 p. <https://d-nb.info/1068772816/34>
7. Zhang K., Yao J., Jiang T. Degradation assessment and life prediction of electro-hydraulic servo valve under erosion wear / K. Zhang, J. Yao, T. Jiang // *Engineering Failure Analysis*. – 2014. - Vol. 36. - P. 284-300.
8. Ilina O.A., Mikosianchyk O.O., Mnatsakanov R.H., Yakobchuk O.Ye. Development of methods for evaluation of lubrication properties of hydraulic aviation oils / O.A. Ilina, O.O. Mikosianchyk, R.H. Mnatsakanov, O.Ye. Yakobchuk // *Problems of Tribology*. – 2021. - V. 26, No 3/101. – P.42-47
9. Mikosianchyk O.O., Yakobchuk O.Ye., Mnatsakanov R. H., Khimko A.M. Evaluation of operational properties of aviation oils by tribological parameters / O.O. Mikosianchyk, O.Ye. Yakobchuk, R. H. Mnatsakanov, A.M. Khimko // *Problems of Tribology*. – 2021. - V. 26, No 1/99. – P.43-50.