

УДК 621.591

DOI: 10.18372/0370-2197.2(99).17611

О. О. МІКОСЯНЧИК, О. Є. ЯКОБЧУК, Є. В. ПЕДАН, Н. М. БЕРЕЗІВСЬКИЙ
Національний авіаційний університет, Україна

ВПЛИВ СТУПЕНЯ ОКИСЛЕННЯ НА ПРОТИЗНОШУВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ АВІАЦІЙНИХ ОЛИВ

Проведено аналіз впливу інтенсивності окиснення авіаційної оливи для осьових шарнірів втулок гвинтів вертольотів на її протизношувальні характеристики. Проаналізовано зміну мікротвердості поверхневих шарів металу при підвищенні кислотного числа оливи та визначено механізми знеміцнення. Обґрунтовано зменшення термінів періодичності контролю якості мастильного матеріалу при експлуатації, що забезпечить підвищення зносостійкості елементів трибоспряжень.

Ключові слова: окиснення; авіаційні оливи; кислотне число; знос; осьовий шарнір.

Вступ та постановка задач дослідження. Ефективність мастильних матеріалів визначається як базовою основою і наявністю функціональних присадок або добавок, так і конструктивними особливостями вузла тертя і матеріалом контактних поверхонь, системою змащування, умовами експлуатації вузла тертя, термінами заміни мастильних матеріалів та ін. Авіаційні оливи характеризуються широким спектром дії, спрямованої на захист вузлів та деталей при терті та зменшення зносу в процесі роботи, перешкоджання утворенню корозії на деталях, подовження терміну служби механізмів. Також важливими характеристиками олив авіаційного типу є очищення механізмів від забруднень, стабільність проти окислювання, в'язкісно-температурні показники. Використання якісних мастильних матеріалів дозволяє збільшити ефективність продуктивності та період експлуатації обладнання. Будь-яка несправність силової установки, трансмісії або гідравлічної системи повітряного судна неприпустима. Зовнішні чинники, такі як УФ-випромінювання, температура, кисень повітря, механічне навантаження або хімічні/біологічні середовища, призводять до передчасного старіння матеріалів, що проявляється в зміні їх хімічних та фізичних властивостей. Тому контроль якості мастильних матеріалів як товарних партій, так і в процесі експлуатації є важливим етапом при технічному обслуговуванні авіаційної техніки, оскільки оцінка фізико-хімічного складу мастильних матеріалів та їх триботехнічних параметрів дозволяє визначити правильний інтервал заміни оливи та мастил, виявити працюючі механізми з позаштатними умовами роботи, розробляти рекомендації щодо зниження витрат на зношування та пошкодження вузлів та агрегатів авіаційної техніки.

Аналіз останніх публікацій з даної проблеми. В парку літальних апаратів військової авіації України значне місце займають вертольоти. В Україні на озброєнні ЗСУ, Національної гвардії, Державної служби з надзвичайних ситуацій та інших структур сил забезпечення безпеки до початку війни налічувалося більше 20 одиниць вертольотів Мі-2 та Мі-2МСБ (модифікація, розроблена АТ «Мотор Січ»), до 70 одиниць Мі-8 різних модифікацій (переважно Мі-8МСБ/Мі-8МСБ-В - модифікація, розроблена АТ «Мотор Січ», яка ґрунтується на модернізації на основі ремоторизації, часткової зміни та реконструкції фюзеляжу, встановленні нової системи запуску двигуна та ін.), до 140 одиниць Мі-24 різних

модифікацій (серед них до 10 одиниць – Мі-24ПУ1, модифікація, розроблена на Державному підприємстві «Конотопський авіаремонтний завод «АВІАКОН» з залученням співвиконавців АТ «Мотор Січ», КБ Луч та ін.) [1-3]. Ефективне використання вертольотів зазначених типів за призначенням можливо за рахунок забезпечення необхідного рівня їх потенціалу. Першочерговими напрямками для реалізації даної задачі є як модернізація вертольотів, що стоять на озброєнні (перебувають в експлуатації), так і проведення робіт з технічного обслуговування із продовженням граничних ресурсів і строків їх служби [4].

Згідно регламентів технічного обслуговування вертольотів серії «Мі» для безвідмовної роботи агрегатів та механізмів вертольоту протягом усього технічного ресурсу поряд з іншими роботами необхідно періодично контролювати якість мастильного матеріалу та своєчасно проводити його заміну [5]. Через велику кількість агрегатів і механізмів, що працюють у різних умовах, на вертольоті застосовується велика різноманітність мастильних матеріалів. Своєчасне та правильне застосування мастильних матеріалів є дуже важливою умовою забезпечення працездатності агрегату або механізму протягом терміну їх служби. Змашуванню піддаються різні вузли і механізми вертольотів: двигуни, редуктори трансмісії, шарніри втулок, гвинтів.

Втулка несучого гвинта (НГ) вертольоту - один з найважливіших і найбільш відповідальних агрегатів конструкції вертольоту. До втулок несучих гвинтів пред'являються наступні вимоги: забезпечення кінематичної рухливості лопаті на всіх робочих режимах, обмеження ступенів свободи лопаті, забезпечення найбільш сприятливих умов роботи гвинта з точки зору аеродинаміки, забезпечення міцності конструкції, висока несуча здатність, гарантія надійності та безпеки експлуатації заданого ресурсу, мінімальний час обслуговування та зручний доступ до технічного обслуговування агрегату [6]. Кожна з кінематичних схем втулок НГ має свої особливості, переваги та недоліки. На різних типах вертольотів застосовуються різні схеми втулок НГ. Конструкція втулки НГ впливає на махові рухи лопатей НГ, його аеродинаміку, а також маневреність та керованість вертольоту. На втулку діє крутий момент від закручування лопаті, він через осьовий шарнір (ОШ) компенсується зусиллями в проводці управління (рис. 1) [7].

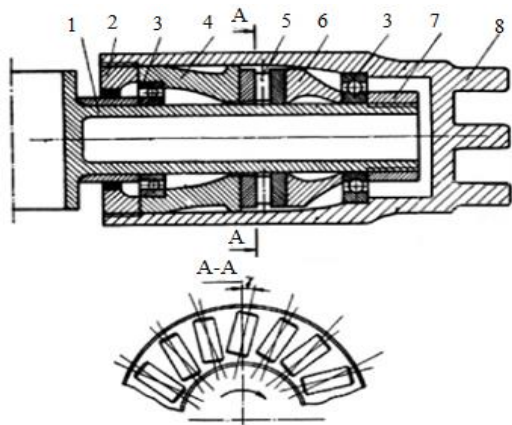


Рис. 1. Конструкція осьового шарніра втулки НГ вертольоту Мі-24А: 1 – цапфа, 2 – гайка корпусу осьового шарніра, 3 – радіальний шарикопідшипник, 4 – розпірна втулка, 5 – упорний роликовий підшипник, 6 – упорне кільце, 7 – гайка, 8 – корпус

При технічному обслуговуванні втулки НГ особлива увага приділяється наявності та своєчасності заправки оливи та мастил в шарніри втулки та компенсаційний бачок. Рівень оливи повинен бути: у горизонтальному шарнірі 30...40 мм (за наявності компенсатора тиску 30...35 мм), у вертикальному 25...35 мм (з компенсатором тиску 30...35 мм) та в осьовому шарнірі – 15...20 мм (з компенсатором тиску до внутрішнього торця отвору) [8].

Синтетичні вуглеводневі оливи часто використовуються у військовій та аерокосмічній промисловості через їх термічну стабільність при високих температурах [9]. Однак термічне окислення мастильного матеріалу створює значний вплив на змащувальну здатність через утворення різних сполук (наприклад, перекис, спирти, альдегіди, кислоти, складні ефіри та оксикислоти) [10]. Крім того, ці низькомолекулярні сполуки надалі полімеризуються в високомолекулярні сполуки, які утворюють нагар або шлам. Також збільшуються в'язкість і кислотне число мастильного матеріалу, що в результаті впливає на безпеку льотно-технічних показників. Тому дуже важливо аналізувати стійкість мастильного матеріалу до окислення.

Продукти полімеризації альфаолефінів містять значну кількість залишкових подвійних зв'язків і тому легко окиснюються [11]. Кінцеві молекулярні продукти реакції представлені оксидами, ненасиченими спиртами, карбонільними сполуками, і лише на глибоких стадіях окиснення утворюються кислоти. Для усунення залишкової ненасиченості поліальфаолефінів використовують різні методи: гідрування, ароматизацію, реакцію з ізопарафінами. Ефективнішим шляхом зменшення концентрації подвійних зв'язків є ароматизація, коли у системі утворюються і залишаються лише домішки-інгібітори. Окислення, наприклад, ненасичених ефірів відбувається при контакті з повітрям та іншими проокислювальними умовами в період експлуатації мастильного матеріалу. Тому для більшості мастильних матеріалів потрібні антиоксиданти, щоб відповідати мінімальним вимогам стійкості до окислення, які вказані у стандартах EN-14214 (6 або 8 годин) та ASTM D-6751 (3 години) [12]. Додавання антиоксидантів до авіаційних оливи може допомогти уповільнити процес окислення, обумовлений вільними радикалами.

Оцінка якості мастильних матеріалів за фізико-хімічними та триботехнічними показниками надає можливість прогнозувати інтенсивність спрацьовування присадок, стійкість до окислювання, протизношувальні характеристики та ін. Розробка методики комплексної оцінки експлуатаційних властивостей авіаційних мастильних матеріалів на етапі лабораторних досліджень дозволить виділити основні критерії їх якості для підвищення надійності, економічності та енергоефективності деталей, вузлів і агрегатів повітряних суден.

Мета роботи – встановлення взаємозв'язку між антиокислювальними та протизношувальними властивостями авіаційної оливи для осьових шарнірів втулок гвинтів вертольотів.

Методика експериментальних досліджень. В якості мастильного матеріалу для досліджень було обрано оливу ВО-12. Олива ВО-12 – всесезонна авіаційна олива для осьових шарнірів втулок гвинтів вертольотів. Допустимий діапазон робочих температур – від мінус 50 до +60 °С. Базова основа оливи – суміш синтетичної вуглеводневої та диефірної оливи, до якої додано комплекс високоєфективних присадок. Олива ВО-12, яка була розроблена на заміну оливи

ВНИИ НП-25, має підвищену стійкість до різких перепадів температур, тиску, рівня вологості. Важливою перевагою даної авіаційної оливи є її стійкість до окислення і спінювання. При нанесенні на поверхню оброблюваної деталі, ВО-12 утворює на ній захисну антикорозійну плівку, що багаторазово підвищує експлуатаційні характеристики агрегату. Паспорт якості на оливу ВО-12 представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики оливи авіаційної ВО-12

Показники	Норма за ГОСТ (ТУ)
Кінематична в'язкість, мм ² /с:	
при 100 °С, не менше	12
при – 30 °С, не більше	15000
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	0,08
Температура, °С:	
спалаху в відкритому тиглі, не нижче	240
застигання, не вище	-54
Вміст водорозчинних кислот та лугів, механічних домішок	Відсутність
Індекс в'язкості, не менше	120
Масова частка золи, %, не більше	0,005
Трибологічні характеристики на ЧКМТ при (20±5)°С:	
критичне навантаження, Н, не менше	686
показник зносу при осьовому навантаженні 196 Н, не більше	0,7

Досліджувались оливи двох виробників: зразок №1 – олива «Бора Б» ВО-12 (виробництво: ТОВ «Бора Б», Україна, продукція випускається за ТУ У 19.2-38474081-017:2018 зі зм. 1 «Оливи трансмісійні «Бора Б» Технічні умови») та зразок №2 – олива всесезонна ВО-12 (виробництво: ООО «Квалитет Авіа», продукція випускається за ТУ 38.401-58-359-2005 зі зм. 1). Олива «Бора Б» ВО-12 розроблена з метою організації робіт з імпортозаміщення та подолання критичної залежності оборонної промисловості України від імпортних поставок оливок даного типу.

Дослідження мастильних матеріалів зразків № 1 та № 2 проводиться на програмно-апаратному комплексі (ПАК) для оцінки триботехнічних характеристик трибоелементів [13]. Максимальне контактне навантаження по Герцу – 300 МПа. Режим тертя: нестационарні умови – циклічність проведення в режимі пуск – стаціонарна робота – гальмування – зупинка. 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). Тривалість циклу – 80 с. Максимальна частота обертів для випереджаючої поверхні – 700 об/хв, для відстаючої поверхні – 679 об/хв. Проковзування – 3 %. Загальний шлях тертя: для випереджаючої поверхні – 9184,5 м, для відстаючої поверхні – 8936 м.

Матеріал контактних поверхонь – ролики зі сталі 40ХН (HRC 36-37, R_a 0,35 мкм). Змащування контактних поверхонь здійснювалось шляхом занурення нижнього ролика в ванночку з оливою.

Антиокислювальні властивості визначали за ДСТУ ГОСТ 18136:2019 – Оливи. Метод визначення стабільності проти окислення (ГОСТ 18136-2017, IDT).

Обговорення основних результатів. Окислення дослідних зразків олив проводили в наступних умовах: температура 120 °С, час окислення – 96 годин, витрата повітря – 5 л/год, каталізатор – 100 мг/кг Cu та 100 мг/кг Fe у вигляді нафтенатів. Кінетика зміни кінематичної в'язкості досліджуваних олив представлена в табл. 2.

Таблиця 2

Кінематична в'язкість при 100 °С для авіаційних олив ВО-12, окислених при 120 °С

Тривалість окислення, годин	Кінематична в'язкість при 100 °С, мм ² /с:		Швидкість зростання кінематичної в'язкості за годину	
	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №1	Зразок №2
0	12,5	12,4	0	0
12	12,51	12,5	0,0008	0,008
24	12,53	12,62	0,0017	0,01
36	12,56	12,75	0,0025	0,011
48	12,6	12,89	0,0033	0,012
60	12,67	13,05	0,0058	0,013
72	12,77	13,23	0,008	0,015
84	12,95	13,77	0,015	0,045
96	13,2	14,52	0,02	0,0625

Зростання температури до 120 °С призводить до інтенсифікації окислювальних процесів. Наслідками окислення є підвищена в'язкість олив через полімеризацію молекул окисленої базової основи мастильних матеріалів, утворення органічних кислот, лаків та відкладень, а також виснаження більшості присадок до олив. Підвищення кінематичної в'язкості досліджуваних олив при 100 °С за тривалості окислення 96 годин встановлено для зразка №1 на 0,7 мм²/с, для зразка №2 – 2,12 мм²/с. Якщо до 24 години окислення авіаційних олив швидкість окислення зразка №1 була меншою в 6...10 разів, в порівнянні з зразком №2, то при збільшенні тривалості окислення до 96 годин відношення по швидкості окислювання досліджуваних зразків зменшувалось до 3 разів, що свідчить про інтенсифікацію окислювальних процесів зразка №1 при тривалості окислення більше 70 годин.

Окислення мастильного матеріалу – це хімічний процес, який змінює його якість і призводить до втрати хімічних та фізичних властивостей. Якісний мастильний матеріал містить антиоксидантні присадки. Оскільки виробники досліджуваних зразків авіаційних олив використовують поліфункціональні пакети присадок, окислення олив починається з розчеплення антиоксидантних присадок, що з часом призводить до зменшення концентрації даної присадки та її виснаження. Першочерговим показником даного процесу є зростання кислотного числа олив, яке було визначено за ГОСТ 11362-96 «Нафтопродукти та мастильні матеріали. Число нейтралізації. Метод потенціометричного титрування (ІСО 6619-88)» (рис. 2).

Результати показують, що зразок №2 легко окислюється, внаслідок чого утворюються кислі продукти, які підвищують його кислотне число.

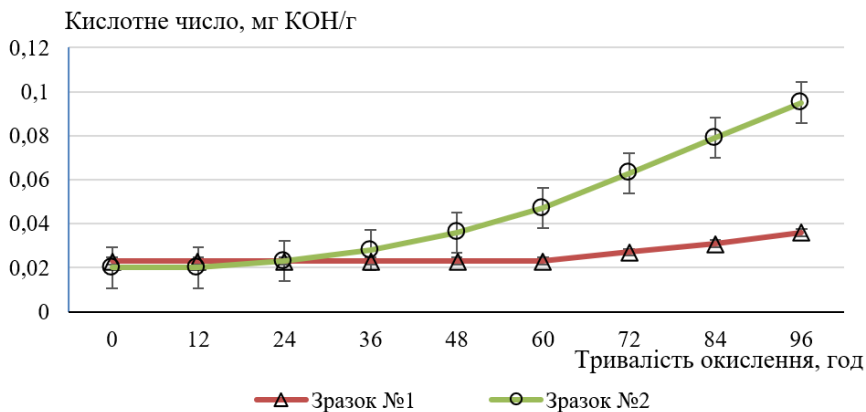


Рис. 2. Зміна кислотного числа авіаційних олив ВО-12 залежно від тривалості окислення при 120 °С.

При тривалості окислення 96 годин кислотне число зразка №2 зросло в 4,75 разів, приріст смол зафіксований на рівні 0,28 %. Зразок №1 проявляє більшу стійкість до окислення – до 60 годин тривалості окислення при 120 °С кислотне число не змінюється, зростання даного показника зафіксовано в 1,57 разів лише в діапазоні тривалості окислення від 70 до 96 годин.

При дослідженні триботехнічних характеристик вузла тертя при змащуванні авіаційними оливами ВО-12 двох марок встановлено, що загальний лінійний знос роликів зі сталі 40ХН становить 2,18 мкм та 3,9 мкм при змащуванні пар тертя відповідно оливою зразок №1 та зразок №2, при використанні зразку №2 знос контактних поверхонь зростає в 1,8 разів (табл. 3).

Таблиця 3

Знос сталі 40ХН та мікротвердість контактних поверхонь

Показники	Мастильний матеріал			
	зразок №1		зразок №2	
	Знос контактних поверхонь після 100 циклів напрацювання			
Загальний знос, мкм	2,18		3,9	
	Випереджаюча поверхня	Відстаюча поверхня	Випереджаюча поверхня	Відстаюча поверхня
Знос, мкм	0,8	1,38	1,75	2,15
	Мікротвердість поверхневих шарів (H ₂₀)			
Мікротвердість поверхні до експерименту (вихідна), МПа	4730	4790	4750	4760
Мікротвердість поверхні після 100 циклів напрацювання, МПа	3753 (зменшення, Δ H ₂₀ = 977)	3675 (зменшення, Δ H ₂₀ = 1115)	3368 (зменшення, Δ H ₂₀ = 1382)	3058 (зменшення, Δ H ₂₀ = 1702)

Для всіх досліджуваних контактних поверхонь, незалежно від марки оливи, встановлення зниження мікротвердості поверхневих шарів сталі після напрацювання 100 циклів. Даний параметр зменшується в 1,26 і в 1,3 рази для випереджаючої та відстаючої поверхонь відповідно при змащуванні зразком №1 та в 1,41 і в 1,56 разів для випереджаючої та відстаючої поверхонь відповідно при змащуванні зразком №2 (табл. 3). Зменшення поверхневих шарів металу,

імовірно, обумовлено пластифікуючим ефектом поверхнево-активних речовин, концентрація яких зростає внаслідок термо-механічної активації при терті в нестационарних умовах мащення (приріст кислотного числа для зразку №1 та зразку №2 становив відповідно 0,005 та 0,01 мг КОН/г оливи).

Якщо при визначенні стабільності проти окислення оливо за ДСТУ ГОСТ 18136:2019 каталізаторами прискорення реакцій окиснення є Cu та Fe у вигляді нафтенатів, то при терті каталізатором окислення виступає активована поверхня металу. Механізм каталітичного окиснення оливо при терті пов'язують з передачею електронів від металевого каталізатора до вільнорадикальних продуктів реакцій окиснення вуглеводнів при температурах від 100 до 300 °С [9]. Інтенсифікація реакцій окислення при терті не тільки призведе до зміни фізико-хімічних властивостей оливи, але також призведе до втрати об'єму оливи за рахунок утворення летких компонентів, що може спричинити зменшення товщини плівки в контакті і, отже, сприятиме прояву процесів масляного голодування [14].

Таким чином, зміна фізико-хімічних властивостей авіаційних оливо при експлуатації може призвести до втрати змащувальної здатності, що створює передумови до заклинювання підшипника. Отже, вибір мастильного матеріалу для важконавантажених вузлів тертя має ґрунтуватися на його стійкості до окислення, що вимагає оцінки та прогнозування окислювальних характеристик мастильних матеріалів. Відповідно до Керівництва з льотної експлуатації та Регламенту з технічного обслуговування вертольотів типу Мі, періодичність заміни всесезонної оливи ВО-12 в осьових шарнірах втулок гвинтів вертольотів становить від 150±10 до 200±10 годин наробітку втулки [15, 16]. Оскільки вертольоти періодично можуть експлуатуватися у складних погодних умовах та за наявності агресивних речовин у навколишньому середовищі, то їх вузли та агрегати будуть працювати в позаштатних умовах. При цьому відбувається інтенсифікація окислювальних реакцій, спрацьовування присадок в мастильному матеріалі, що може призвести до збільшення зносу елементів трибоспряження. Тому запровадження програми регулярного відбору мастильного матеріалу під час експлуатації вертольотів типу Мі з періодичністю 30-50 годин дозволить визначити правильний інтервал заміни мастильного матеріалу, що забезпечить підвищення зносостійкості елементів трибоспряжень.

Висновки. Встановлено підвищення кінематичної в'язкості авіаційних оливо за тривалості окислення 96 годин на 0,7...2,12 мм²/с залежно від пакету поліфункціональних присадок до базової основи.

Проведена оцінка приросту кислотного числа авіаційних оливо та утворення смол при визначенні стабільності проти окислення – при тривалості окислення 96 годин швидкість утворення продуктів окислення залежить від пакету поліфункціональних присадок.

Встановлено зростання зносу сталі внаслідок знеміцнення поверхневих шарів металу, що обумовлено пластифікуючим ефектом продуктів окислення, які утворюються при термо-механічній активації в процесі тертя.

Список літератури

1. Корж А. Мі-2, Мі-8, Мі-17, Мі-24: основні бойові вертольоти української армії. Слово і Діло. 2023. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/03/30/stattja/bezpeka/mi-2-mi-8-mi-17-mi-24-osnovni-bojovi-vertoloty-ukrayinskoyi-armiyi> (дата звернення: 16.05.2023).

2. Христофоров В. «Авіакон» передав Збройним силам партію ударних гелікоптерів Мі-24ПУ1. Промисловий портал.2021. URL: <https://uprom.info/news/avia/aviakon-peredav-zbrojnym-sylam-partiyu-udarnyh-gelikopteriv-mi-24pu1/> (дата звернення: 10.05.2023).
3. ЗСУ отримали партію модернізованих бойових гелікоптерів Мі-24ПУ1.2021. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/zsu-otrymaly-partiyu-modernizovanyh-bojovyh-gelikopteriv-mi-24pu1/> (дата звернення: 14.05.2023).
4. Харченко О.В., Пащенко С.В. Концептуальні засади подальшого розвитку авіації збройних сил України. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2020. Вип. 16 (23). С.6-11.
5. Дерев'яно І. Г. «Конструкція і експлуатація вертольота Мі-2». Навчальний посібник. Кременчук: КЛК НАУ, 2019. 91с.
6. Skiba K. Designing and FEM simulation of the helicopter rotor and hub. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 710. P. 012003.
7. Kowaleczko G., Piatkowski L. Estimation of Extreme Loads of the Mi-24 Helicopter During Maneuvers Using Simulation Method / Posted: 10 January 202). Distributed under a Creative Commons CC BY license. (Preprints).
8. Першаков В.М., Белятинський А.О., Близнюк Т.В., Семироз Н.Г. Вертодроми: монографія. – К.: Видавництво НАУ, 2014. 370 с.
9. Yao T., Zhang N., Zhang M., She X. et. al. Effect of iron and copper on the thermal oxidation stability of synthetic hydrocarbon aviation lubricating oil. Catalysis Communications. 2021. Vol. 161. P. 106363.
10. Raof N. A., Yunus R., Rashid U., Azis N., Yaakub Z. Effect of molecular structure on oxidative degradation of ester based transformer oil. Tribology International. 2019. Vol. 140. P. 105852.
11. Железний Л.В., Бутовець В.В. Кінетика окиснення комплексних літійових мастил на синтетичних оливах. Катализ и нефтехимия. 2007. №15. С.122-126.
12. Çamur, H.; Al-Ani, A.M.R. Prediction of Oxidation Stability of Biodiesel Derived from Waste and Refined Vegetable Oils by Statistical Approaches. Energies. 2022. 15. P. 407.
13. Іліна О.А., Мікосіянчук О. О., Мнатсаканов Р. Г., Якобчук О.Ye. Development of methods for evaluation of lubrication properties of hydraulic aviation oils. Problems of Tribology. 2021. V. 26, No 3/101. P.42-47.
14. Smook L. A., Sathwik Chatra K. R., Lugt P. M. Evaluating the oxidation properties of lubricants via non-isothermal thermogravimetric analysis: Estimating induction times and oxidation stability. Tribology International. 2022. Vol. 171. P. 107569.
15. Дерев'яно І. Г. Конструкція і експлуатація вертольоту Мі-8МТВ-1: конспект лекцій. Кременчук: КЛК НАУ, 2010. 95 с.
16. Перелік даних до Додаткового сертифіката типу № ДТВ-0009. 2013. URL: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2019/02/DТВ-0009.pdf> (дата звернення: 19.05.2023).

Стаття надійшла до редакції 22.05.2023.

O. O. MIKOSIANCHYK, O. YE. YAKOBCHUK, YE. V. PEDAN, N. M. BEREZIVSKYI

INFLUENCE OF OXIDATION DEGREE ON ANTIWEAR PROPERTIES OF AVIATION OILS

Control of the quality of lubricants both in product batches and in the process of operation is an important stage in the maintenance of aviation equipment since the assessment of the physicochemical composition of lubricants and their tribotechnical parameters allows for determining the correct oil and lubricant replacement interval. An analysis of the influence of the intensity of oxidation of aviation oil for axial hinges of helicopter propeller bushings on oil's anti-wear characteristics was made. An increase in temperature to 120 °C leads to the intensification of oxidation processes. The consequences of oxidation are the increased viscosity of oils due to the polymerization of molecules of the oxidized base of lubricants, the formation of organic acids, lacquer and deposits, as well as the exhaustion of most oil additives. An increase in the kinematic viscosity of aviation oils with a duration of oxidation of 96 hours by 0.7...2.12 mm²/s was established, depending on the package of multifunctional additives to the basic base. The assessment of the increase in the acid number of aviation oils and the formation of resins during the determination of stability against oxidation was made - with a duration of oxidation of 96 hours, the rate of formation of oxidation products depends on the package of multifunctional additives. The change in the micro hardness of the metal surface layers at the increase in the oil acid number was analysed and the weakening mechanisms were determined. The growth of steel wear due to the weakening of the metal surface layers due to the plasticizing effect of oxidation products that are formed during thermomechanical activation in the friction process has been established. During friction, the activated surface of the metal acts as an oxidation catalyst. It is justified to reduce the periodicity of lubricant material quality control during operation, which will ensure increased wear resistance of elements of triboconjugation.

Keywords: oxidation; aviation oil; acid number; wear; axial hinge.

Referenses

1. Korzh A. Mi-2, Mi-8, Mi-17, Mi-24: osnovni bojovi vertol'oti ukraïns'koï armii. Slovo i Dilo. 2023. URL: <https://www.slovovidilo.ua/2023/03/30/stattja/bezpeka/mi-2-mi-8-mi-17-mi-24-osnovni-bojovi-vertoloty-ukrayinskoyi-armiyi> (data zvernennja: 16.05.2023).
2. Hristoforov V. «Aviakon» peredav Zbrojnim silam partiju udarnih gelikopteriv Mi-24PU1. Promislovij portal.2021. URL: <https://uprom.info/news/avia/aviakon-peredav-zbrojnym-sylam-partiyu-udarnyh-gelikopteriv-mi-24pu1/> (data zvernennja: 10.05.2023).
3. ZSU otrimali partiju modernizovanih bojovih gelikopteriv Mi-24PU1.2021. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/zsu-otrymaly-partiyu-modernizovanyh-bojovyh-gelikopteriv-mi-24pu1/> (data zvernennja: 14.05.2023).
4. Harchenko O.V., Pashhenko S.V. Konceptual'ni zasadi podal'shogo rozvitku aviacii zbrojnih sil Ukraïni. Zbirnik naukovih prac' Derzhavnogo naukovo-doslidnogo institutu aviacii. 2020. Vip. 16 (23). S.6-11.
5. Derev'janko I. G. «Konstrukcija i eksploatacija vertol'ota Mi-2». Navchal'nij posibnik. Kremenčuk: KLK NAU, 2019. 91s.6. Skiba K. Designing and FEM simulation of the helicopter rotor and hub. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 710. P. 012003.
7. Kowaleczko G., Piatkowski L. Estimation of Extreme Loads of the Mi-24 Helicopter During Maneuvers Using Simulation Method / Posted: 10 January 202). Distributed under a Creative Commons CC BY license. (Preprints).
8. Pershakov V.M., Beljatinskij A.O., Bliznjuk T.V., Semiroz N.G. Vertodromi: monografija. – K.: Vidavnictvo NAU, 2014. 370 s.
9. Yao T., Zhang N., Zhang M., She X. et. al. Effect of iron and copper on the thermal oxidation stability of synthetic hydrocarbon aviation lubricating oil. Catalysis Communications. 2021. Vol. 161. P. 106363.
10. Raof N. A., Yunus R., Rashid U., Azis N., Yaakub Z. Effect of molecular structure on oxidative degradation of ester based transformer oil. Tribology International. 2019. Vol. 140. P. 105852.
11. Zheleznyj L.V., Butovec' V.V. Kinetika okisnennja kompleksnih litijovih mastil na sintetichnih olivah. Kataliz i neftehimija. 2007. №15. S.122-126.

12. Çamur, H.; Al-Ani, A.M.R. Prediction of Oxidation Stability of Biodiesel Derived from Waste and Refined Vegetable Oils by Statistical Approaches. *Energies*. 2022. 15. P. 407.

13. Ilina O.A., Mikosianchyk O. O., Mnatsakanov R. G., Yakobchuk O.Ye. Development of methods for evaluation of lubrication properties of hydraulic aviation oils. *Problems of Tribology*. 2021. V. 26, No 3/101. P.42-47.

14. Smook L. A., Sathwik Chatra K. R., Lugt P. M. Evaluating the oxidation properties of lubricants via non-isothermal thermogravimetric analysis: Estimating induction times and oxidation stability. *Tribology International*. 2022. Vol. 171. P. 107569.

15. Derev'janko I. G. *Konstrukcija i eksploatacija vertol'otu Mi-8MTV-1: konspekt lekcij*. Kremenchuk: KLK NAU, 2010. 95 s.

16. Perelik danih do Dodatkovogo sertifikata tipu № DTV-0009. 2013. URL: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2019/02/DTB-0009.pdf> (data zvernennja: 19.05.2023).

Mikosianchyk Oksana Oleksandrivna - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: oksana.mikos@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2438-1333>.

Yakobchuk Oleksandr Yevheniyovych – Senior teacher on Aircraft Design Department of National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: a-yak@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3452-1264>.

Pedan Yevhen Valeriyovych – Graduate of Higher Education with a Master`s Degree in Specialty 152 «Metrology and Information-measuring Technology», Educational and Professional Program «Quality, Standardization and Certification», National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: kedr23edan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8761-750X>.

Berezivskiy Nazarii Mykolayovych – Graduate of Higher Education with a Master`s Degree in Specialty 152 «Metrology and Information-measuring Technology», Educational and Professional Program «Quality, Standardization and Certification», National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: 5283404@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0007-7657-0367>.

Мікосянчик Оксана Олександрівна – докт. 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, <https://orcid.org/0000-0002-2438-1333>.

Якобчук Олександр Євгенійович – старший викладач кафедри конструкції літальних апаратів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 75 97, E-mail: a-yak@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3452-1264>.

Педан Євген Валерійович – здобувач вищої освіти освітнього ступеня магістр за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка», освітньо-професійна програма «Якість, стандартизація та сертифікація», Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, E-mail: kedr23edan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8761-750X>.

Березівський Назарій Миколайович – здобувач вищої освіти освітнього ступеня магістр за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка», освітньо-професійна програма «Якість, стандартизація та сертифікація», Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, E-mail: 5283404@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0007-7657-0367>.