

УДК 662/753 (045)

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ РІДИН В КОНТЕКСТІ МЕХАНІЗМУ НЕПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ БЕЗПЕКИ АВІАЦІЇ

О. Я. Кузнєцова, канд. техн. наук, доц.; Ж. М. Нетреба,
І. К. Кліщ, М. С. Бойченко

Національний авіаційний університет

elena2055@ukr.net

У статті показано можливість прогнозування рівня експлуатаційних властивостей гідравлічних рідин під час їх тривалого використання, яка ґрунтується на встановленому експериментально напрямі хімічних перетворень у їх вуглеводневому складі. Знайдено показники якості, які можуть бути обрані показниками рівня якості гідравлічної рідини при тривалому використанні, що уможливорює призначати періодичність контролю якості гідравлічних рідин у цей період та створити механізм неперервного моніторингу безпеки гідравлічної системи повітряного судна.

Ключові слова: хімічні перетворення, якість рідини, технологія, процес контролю якості.

In the article the shown possibility of prognostication of level of operating properties of hydraulic liquids is during their protracted use, that is base on the direction of the chemical converting set experimentally into their hydrocarbon composition. The indexes of quality, that can be select the pointers of level of quality of hydraulic liquid at the protracted use that does possible to appoint periodicity of control of quality of hydraulic liquids and create the mechanism of the continuous monitoring of safety of the hydraulic system of air ship, are found.

Keywords: chemical transformations, quality of the liquid, technology, process of quality control.

Вступ

На 37-й сесії Асамблеї ООН, яка проходила з 28 вересня по 08 жовтня 2010 року, прийнято резолюцію про те, що подальшим розвитком Універсальної програми перевірок організації контролю за забезпеченням безпеки польотів (УШКБП) виступає розроблення ІКАО механізму неперервного моніторингу (МНМ) безпеки авіації.

МНМ безпеки авіації планується проводити за такими напрямками, а саме: аеронавігація, аеродроми, авіаційний персонал, льотна придатність та експлуатація повітряного судна [1].

МНМ безпеки авіації при експлуатації повітряного судна (ПС) складається з постійного періодичного контролю стану роботи всіх його систем, у тому числі і гідравлічної.

Оскільки робочим тілом гідравлічної системи ПС є гідравлічна рідина, постає завдання періодичного контролю її експлуатаційних властивостей під час тривалого використання.

У свою чергу, вказані властивості оцінюються показниками якості, допустимі значення яких регламентуються чинною Інструкцією з контролю якості паливно-мастильних матеріалів і спеціальних рідин [2].

Постановка питання

У зв'язку з цим слід визначити показники якості, які можуть бути обрані показниками рівня якості гідравлічної рідини при тривалому використанні.

Об'єкти системи контролю якості

Об'єктами системи контролю якості гідравлічних рідин виступають одночасно гідравлічна система ПС та робоча рідина, якою вона заправлена. Відомо [3], що вимоги до експлуатаційних властивостей гідравлічних рідин були визначені задля забезпечення режимів роботи гідросистеми ПС та її агрегатів під час виконання польоту.

У свою чергу технологічні процеси виробництва гідравлічних рідин забезпечують їх певний вуглеводневий склад з метою відтворення зазначених експлуатаційних властивостей.

Під час тривалого використання гідравлічних рідин відбувається взаємний вплив матеріалу агрегатів та режимів роботи гідросистеми на вуглеводневий склад рідини та рідини як суміші хімічних сполук на матеріал агрегатів гідросистеми ПС. До того ж, неперервно змінювані температура рідини під час польоту ПС та концентрація розчинених кисню повітря і води в рідині та її одночасний контакт з металом агрегатів гідросистеми ПС спричиняють хімічні перетворення у вуглеводневому складі рідини.

У свою чергу технологія контролю якості гідравлічних рідин призначена для перевірки відповідності експлуатаційних властивостей гідравлічної рідини вимогам чинних стандартів під час її тривалого використання.

Слід зазначити, що наразі в Україні змінилися об'єкти системи контролю якості. Раніше, коли вітчизняна цивільна авіація була складовою єдиної радянської цивільної авіації, об'єктами сис-

теми контролю якості були гідросистеми ПС типу Ан, Ту, Іл, Як та гідравлічна рідина марки АМГ-10. Як відомо, гідравлічна рідина АМГ-10 випробувана впродовж багатьох років при використанні в гідравлічних системах зазначених типів ПС.

На підставі попередніх багаторічних досліджень її вуглеводневий склад узгоджений з властивостями ущільнювальних матеріалів у конструкції гідравлічних систем цих типів літаків, з температурними і навантажувальними режимами її роботи.

На сьогодні авіакомпаніями України експлуатуються повітряні судна типів Ан, Ту, Іл, Як, які випускаються в Україні та Росії, та закордонні літаки типу Боїнг. Останні, до того ж, ще й мають ресурс роботи близький до максимального. Зараз українські підприємства цивільної авіації забезпечуються гідравлічною рідиною «Гідронікойл» FH-51 виробництва французької фірми «НІКО», що замінила гідравлічну рідину АМГ-10, яку й досі виробляють та застосовують у Росії.

Із сертифіката якості виробника відомо, що «Гідронікойл» FH-51 — це мінеральна гідравлічна рідина, яка за показниками якості є аналогом робочої рідини АМГ-10. Ці рідини допускається змішувати під час дозаправлення гідросистеми ПС у будь-яких співвідношеннях.

У свою чергу рідина «Гідронікойл» FH-51 призначена для використання в гідравлічних системах літаків типу Боїнг. Гідравлічна система зазначеного типу ПС відрізняється застосованими ущільнювальними матеріалами, режимами роботи гідравлічної системи в цілому та її агрегатів. Проте «Гідронікойл» FH-51 допущена до використання в гідравлічних системах типів ПС українського та російського виробництва без попереднього встановлення її експлуатаційних властивостей. Слід зазначити, що сучасні кліматичні умови експлуатації ПС відрізняються від минулих років, що суттєво впливає на стан об'єктів контролю якості.

На сьогодні розширився спектр зон, куди виконують рейси авіакомпанії України, передусім, це країни Африки та Азії. До того ж клімат України за останні роки зазнав значного потепління.

Підвищена температура є найголовнішим чинником, який зумовлює окиснювальні та хімічні процеси, що протікають у вуглеводневому складі гідравлічної рідини під час тривалого використання.

Чинна технологія контролю якості гідравлічних рідин

Контроль якості гідравлічних рідин виконується відповідно до «Інструкції із забезпечення

заправлення повітряних суден паливно-мастильними матеріалами і технічними рідинами в підприємствах цивільного авіаційного транспорту України», затвердженої Наказом Державіаслужби 14.06.2006 р. № 416.

Інструкція встановлює правила приймання, зберігання, заправлення, контролю якості гідравлічних рідин з моменту їх постачання на підприємство цивільного авіаційного транспорту та впродовж усього терміну експлуатації в гідросистемі літака.

Технологія контролю якості гідравлічних рідин складається з чотирьох етапів (див. рисунок).

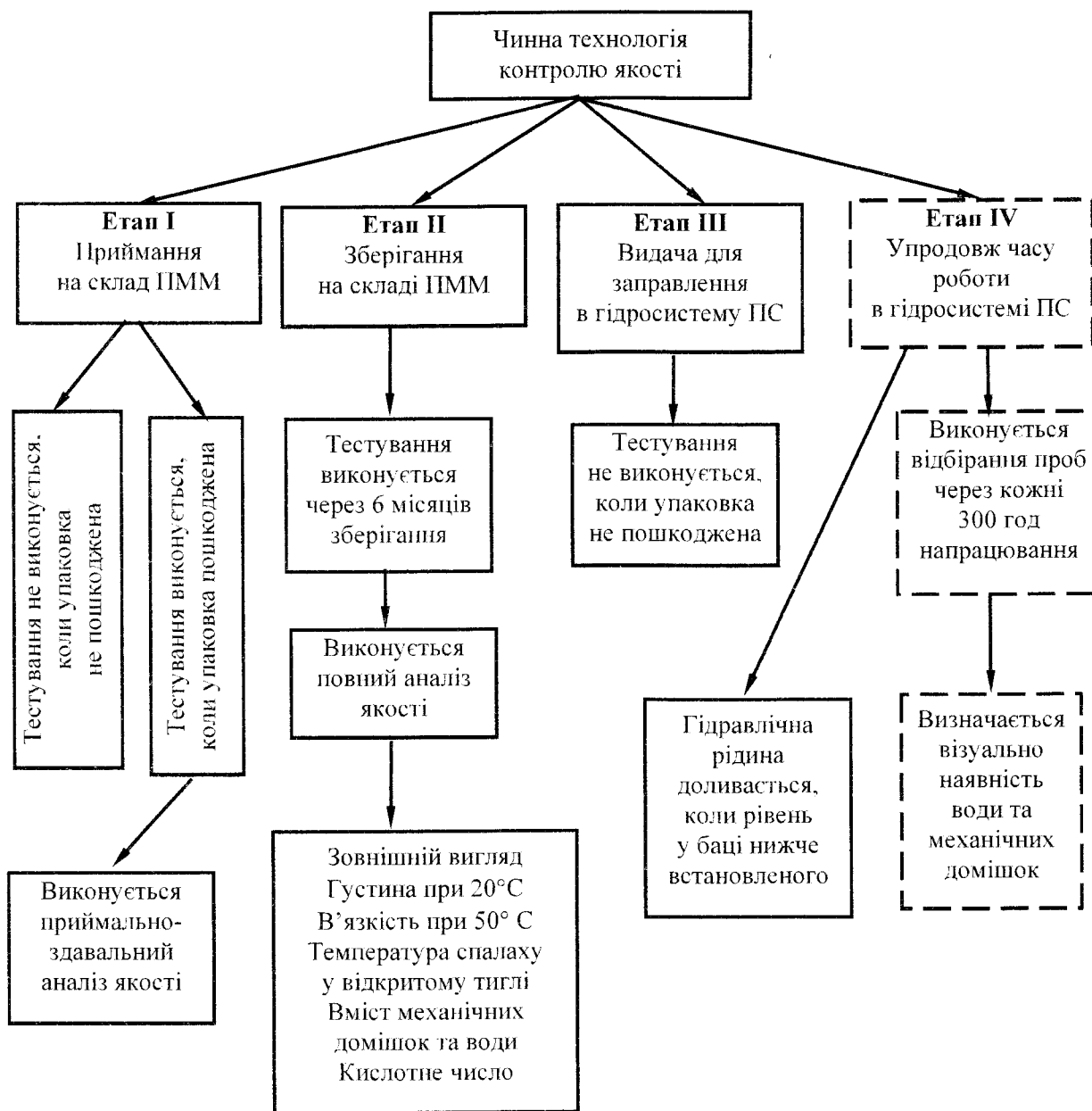
Перший етап — контроль якості під час прийому на склад паливно-мастильних матеріалів (ПММ) аеропорту, *другий етап* — під час зберігання на складі ПММ, *третій* — у разі видачі на заправлення в гідравлічну систему ПС, *четвертий етап* — під час тривалого (3600 год) використання в гідравлічній системі ПС.

Як показано на рисунку, на першому, другому та третьому етапах регламентовано за певних умов виконання аналізів якості з метою встановлення відповідності експлуатаційних властивостей визначеним вимогам.

На четвертому етапі, тобто впродовж 3600 год роботи рідини в гідравлічній системі ПС, передбачено лише візуальне визначення наявності води та механічних домішок.

Тривалий контакт гідравлічної рідини з металами агрегатів гідросистеми літака, зміна температури під час набирання висоти та зниження, розчинність та випаровування кисню повітря із об'єму рідини в надридинний простір гідробака, зміна вологості повітря і, відповідно, розчиненої води виступають чинниками, що спричиняють окиснення вуглеводнів гідравлічної рідини і, як наслідок, погіршення її експлуатаційних властивостей.

Проте чинною технологією контролю якості при тривалому використанні гідравлічної рідини не передбачено тестування щодо визначення змін у її вуглеводневому складі. У зв'язку з цим при експлуатації рідини не надходить інформація про дійсний стан її якості, що не може гарантувати нормальні режими роботи агрегатів гідравлічної системи та, відповідно, необхідного рівня безпеки ПС. Коли несправності та відмови агрегатів гідравлічної системи ПС трапляються на землі, це потребує їх заміни та спричиняє затримку рейсів на різні проміжки часу. У зв'язку з цим порушується розклад руху ПС та авіакомпанії несуть фінансові збитки. Випадкова поява несправностей та відмов агрегатів гідравлічної системи ПС у польоті створює серйозну загрозу безпеці ПС та, відповідно, здоров'ю пасажирів.



Структурна схема чинної технології контролю якості гідравлічних рідин

Зауважимо, що зараз змінилися економічні взаємовідносини між експлуатаційними службами підприємств цивільної авіації та авіакомпаніями.

За радянських часів в умовах централізованого управління діяльністю авіапідприємств, коли наземні експлуатаційні служби та ПС належали одному власнику — державі, існувало повне узгодження дій щодо реалізації технології контролю якості гідравлічної рідини з моменту її заправлення в бак літака, впродовж усього терміну роботи в гідросистемі літака до повного зливання через певний час напрацювання.

Натепер в умовах комерційних відносин між експлуатаційними службами авіапідприємств та авіакомпаніями необхідні випробування щодо

контролю якості гідравлічної рідини не тільки фінансуються компанією-власником літака, а й ним же замовляються кількість та перелік тестувань.

Тому найчастіше компанії-власники літака не дотримуються вимог чинної інструкції контролю якості гідравлічних рідин.

З огляду на вищевикладене, слід констатувати, що зараз, в умовах розроблення механізму неперервного моніторингу безпеки авіації, постала необхідність прогнозування рівня експлуатаційних властивостей гідравлічної рідини під час її тривалого використання та прийняття певних дій, спрямованих на запобігання появі загроз безпеці ПС з причини некондиційного стану гідравлічної рідини.

Хімічний склад товарних гідравлічних рідин

Ураховуючи сказане, було проведено дослідження з встановлення хімічного складу товарних гідравлічних рідин АМГ-10 та «Гідронікойл» FH-51. Результати досліджень [4] показали, що рідина «Гідронікойл» FH-51 виготовлена на мінеральній основі із застосуванням процесів депарафінації і деароматизації.

За вуглеводневим складом рідина «Гідронікойл» FH-51 є аналогом рідини АМГ-10, проте має інший відсотковий вміст вуглеводнів. А саме, містить у три рази менше парафінових вуглеводнів, на 13,8 % більше нафтових та у чотири рази більше ароматичних вуглеводнів.

Більший вміст ароматичних вуглеводнів є причиною того, що гідравлічна рідина «Гідронікойл» FH-51 має нижчу окиснювальну стабільність, ніж АМГ-10. Обидві гідравлічні рідини містять антипіну поліорганосилоксанову присадку. До складу рідини АМГ-10 введено антиокиснювальні присадки іонол і феніл- α -нафтиламін.

До складу рідини «Гідронікойл» FH-51 введена тільки антиокиснювальна присадка феніл- α -нафтиламін, що підтверджує висновок про її нижчу окиснювальну стабільність.

Хімічний склад фракцій гідравлічних рідин під час тривалого використання

Встановлено [5], що хімічні перетворення в молекулах вуглеводнів гідравлічної рідини «Гідронікойл» FH-51 з часом експлуатації протікають спочатку в напрямі зменшення вмісту легких вуглеводнів, а саме: нафтенів та парафінів. Далі перебігають вторинні хімічні перетворення продуктів цих реакцій з утворенням легких вуглеводнів. Проте утворені легкі вуглеводні не відтворюють первинний хімічний склад товарної рідини і, відповідно, її експлуатаційні властивості.

Продукти деструкції нафтових та парафінових вуглеводнів вступають у хімічні реакції в напрямі утворення ароматичних та кисневмісних молекул, внаслідок чого утворюються висококиплячі сполуки.

Хімічні реакції деструкції парафінових вуглеводнів перших фракцій, деструкції та дегідратування нафтових структур перших фракцій і їх ущільнення, ущільнення нафто-ароматичних вуглеводнів других фракцій, ущільнення ненасичених нафто-ароматичних вуглеводнів залишків перебігають в умовах нестационарної дифузії атмосферного кисню. Встановлено, що за цих умов концентрація $V(t)$ молекул вуглеводнів у

гідравлічній рідині «Гідронікойл» FH-51 з часом експлуатації описується рівнянням:

$$V(t) = V(0) - kt^A,$$

де $V(0)$ — концентрація молекул вуглеводнів у товарній рідині.

Відповідно, для нафтових вуглеводнів перших фракцій рідини «Гідронікойл» FH-51 коефіцієнти набувають таких значень $A=6$; $k=5,898 \cdot 10^{-15}$ % відн./год⁶; для нафтових вуглеводнів других фракцій рідини «Гідронікойл» FH-51 — $A=5$; $k=-2,52 \cdot 10^{-12}$ % мас./год⁵; для нафтових вуглеводнів у гексановому концентраті залишків рідини «Гідронікойл» FH-51 — $A=4$; $k=-5,67 \cdot 10^{-10}$ % відн./год⁴; для ароматичних вуглеводнів у бензольній фракції залишків рідини «Гідронікойл» FH-51 — $A=5$; $k=-2,43 \cdot 10^{-12}$ % відн./год⁵.

Практичні рекомендації щодо вдосконалення технології контролю якості

Під удосконаленням технології контролю якості у даному випадку слід розуміти виконання сукупності дій, які обрано з множини можливих на підставі певної інформації і спрямованих на підтримку якості гідравлічної рідини згідно з цілями контролю якості. У цьому зв'язку треба здійснити прогнозування зміни значень показників якості та прогнозування змін експлуатаційних властивостей рідини під час експлуатації. Прогнозування завжди має ймовірнісний характер, оскільки ґрунтується на врахуванні великої кількості невизначених чинників.

На підставі отриманих експериментальних даних щодо напрямку зміни хімічного складу рідини під час тривалого використання вдалося визначити показники якості, які можуть виступати індикаторами зміни її експлуатаційних властивостей, а саме:

- температура спалаху у відкритому тиглі;
- кінематична в'язкість при 50°C;
- кислотне число (КЧ).

У таблиці наведено результати визначення температури спалаху у відкритому тиглі зразків гідравлічних рідин АМГ-10 та «Гідронікойл» FH-51. Як бачимо, у зразках обох рідин спостерігається збільшення значень температури спалаху у відкритому тиглі зі збільшенням часу нагрівання. Такий напрям зміни цього показника якості цілком природний, оскільки експериментально встановлено, що хімічні перетворення вуглеводнів супроводжуються утворенням вторинних легких сполук.

Температура спалаху у відкритому тиглі зразків гідравлічних рідин АМГ-10 та FH-51

Рідина	Товарна, °С	500 год нальоту, °С	1000 год нальоту, °С	3600 год нальоту, °С	Норма, °С
АМГ-10	99	100	101	102	Не менше 93
FH-51	95	97	98	99	Не менше 82

Як було встановлено в ході досліджень, ці вторинні сполуки за хімічним складом не відтворюють первинні, тому експлуатаційні властивості гідравлічної рідини не зберігаються з часом експлуатації. За специфікацією MIL-H-5606 на гідравлічну рідину «Гідронікойл» FH-51 показник якості температури спалаху у відкритому тиглі нормується не менше 82°С.

Відповідно до паспорта якості на гідравлічну рідину АМГ-10 за ГОСТ- 6794-75 показник якості «температура спалаху у відкритому тиглі» нормується як не менше 93°С і верхньої межі також не має. Отже, у зв'язку з цим показник якості «температура спалаху у відкритому тиглі» не може виступати таким, який здатен визначити початок погіршення їх експлуатаційних властивостей під час тривалого використання.

Знайдено залежність кінематичної в'язкості при 50°С від напрацювання для досліджуваних гідравлічних рідин:

$$\nu = \frac{b}{1 - c \exp(-at)}$$

Для гідравлічної рідини АМГ-10 коефіцієнти мають таке значення: $b = 9,19 \text{ мм}^2/\text{с}$, $a = 0,75 \cdot 10^{-3} 1/\text{год}$; $c = 0,098$; t — час, год.

Для гідравлічної рідини FH-51 коефіцієнти мають значення: $b = 11,55 \text{ мм}^2/\text{с}$, $a = 0,55 \cdot 10^{-3} 1/\text{год}$, $c = 0,16$.

Встановлено, що впродовж 500 год напрацювання гідравлічної рідини в гідросистемі ПС показник якості «кінематична в'язкість» за температури 50°С для АМГ-10 зменшується до $9,85 \text{ мм}^2/\text{с}$, для «Гідронікойл» FH-51 — до $13,30 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Відповідно до сертифіката якості на гідравлічну рідину АМГ-10 за ГОСТ- 6794-75 показник якості «кінематична в'язкість» при 50°С нормується не менше $10,19 \text{ мм}^2/\text{с}$.

За специфікацією MIL-H-5606 на гідравлічну рідину «Гідронікойл» FH-51 цей показник якості нормується не менше $13,00 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Отже, для АМГ-10 має значення нижче нормативного, а для рідини «Гідронікойл» FH-51 — на межі нормативного, нижче якого згідно з чин-

ною інструкцією гідравлічну рідину використовувати в гідросистемі ПС заборонено.

Знайдено залежності кислотного числа (КЧ) від напрацювання для досліджуваних гідравлічних рідин:

$$\text{КЧ} = \frac{f}{\exp\left(\frac{a}{b+ct}\right)}$$

Для гідравлічної рідини АМГ-10 коефіцієнти мають таке значення: $f = 0,2 \text{ мг КОН на } 1 \text{ г}$; $a = 0,53, \text{ год}$; $b = 0,13, \text{ год}$; $c = 10^{-3}$.

Для гідравлічної рідини «Гідронікойл» FH-51 коефіцієнти мають значення: $f = 0,27 \text{ мг КОН на } 1 \text{ г}$; $a = 1,05, \text{ год}$; $b = 0,45, \text{ год}$; $c = 10^{-3}$.

Встановлено, що через 300 год напрацювання в гідросистемі ПС показник якості «кислотне число» для гідравлічної рідини АМГ-10 збільшується до $0,04 \text{ мг КОН на } 1 \text{ г}$, а для «Гідронікойл» FH-51 — до $0,063 \text{ мг КОН на } 1 \text{ г}$, що перевищує нормоване чинними інструкціями значення.

Відповідно до паспорта якості на гідравлічну рідину АМГ-10 за ГОСТ- 6794-75 показник якості «кислотне число» нормується не більше $0,03 \text{ мг КОН на } 1 \text{ г}$ мастила.

За специфікацією MIL-H-5606 на гідравлічну рідину «Гідронікойл» FH-51 цей показник якості нормується теж не більше $0,03 \text{ мг КОН на } 1 \text{ г}$ мастила.

Отримані результати показують, що згідно з чинними інструкціями, гідравлічні рідини АМГ-10 та «Гідронікойл» FH-51 з такими значеннями показника якості «кислотне число» використовувати в гідросистемі ПС не можна.

При цьому показник якості «кислотне число» гідравлічної рідини «Гідронікойл» FH-51 збільшується з напрацюванням швидше, ніж гідравлічної рідини АМГ-10, що свідчить про її нижчу окиснювальну стабільність.

Висновки

Показники якості «кінематична в'язкість при 50°С» та «кислотне число» можуть бути обрані такими, що здатні виявити початок змін експлуатаційних властивостей гідравлічних рідин під час тривалого використання.

Таким чином, з'являється можливість прогнозування рівня якості гідравлічних рідин під час тривалого використання, що уможливорює призначати періодичність контролю якості гідравлічних рідин у цей період та створити механізм неперервного моніторингу безпеки гідравлічної системи повітряного судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Doc 9735. «Руководство по непрерывному мониторингу в рамках Универсальной программы проверок организации контроля за обеспечением безопасности полетов», ИКАО, 2011. — [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.icao.int>.

2. Інструкція із забезпечення заправлення повітряних суден паливно-мастильними матеріалами і технічними рідинами в підприємствах цивільного

авіаційного транспорту України. Наказ Державіа-служби № 416. — [Електронний ресурс] Режим доступу : [www/uazakon.com/documents/date bh/pg gsnwsb/pg7.htm](http://www.uazakon.com/documents/date bh/pg gsnwsb/pg7.htm).

3. Аксенов А. Ф. Химмотология авиационных специальных жидкостей / А. Ф. Аксенов, А. А. Литвинов. — К., 1972. — 134 с.

4. Кузнєцова О. Я. Порівняльний аналіз структурно-групового складу товарних рідин АМГ-10 та FH-51 для гідравлічних систем літаків / О. Я. Кузнєцова, Ж. М. Нетреба // Вопросы химии и химической технологии. — 2008. — № 4. — С. 90–92.

5. Кузнєцова О. Я. Кінетика хімічних перетворень вуглеводнів робочої рідини FH-51 під час експлуатації повітряного судна / О. Я. Кузнєцова, Ж. М. Нетреба // Наукоємні технології. — К. : НАУ, 2010. — № 2 (6). — С. 39–42.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2012