

Кузнецова О. Я.,
Нетреба Ж. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАРІННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ ОЛИВ. І. ФРАКЦІЙНИЙ СКЛАД

Досліджено особливості перебігу реакцій деструкції в молекулах бі- та трициклічних нафтоєвих вуглеводнів, які містяться в перших фракціях модельних зразків гідравлічної оливи «Гідронікойл FH-51», з метою встановлення механізму старіння оливи. Знайдено, що внаслідок перебігу процесів деструкції молекул вуглеводнів, дегідратування та ущільнення продуктів цих перетворень відбувається зменшення кількості низькокиплячих вуглеводнів та збільшення відповідно висококиплячих у фракційному складі гідравлічної оливи з часом роботи в гідравлічній системі повітряного судна.

Ключові слова: старіння оливи, мас-спектральний аналіз, деструкція молекул вуглеводнів, гарантований ресурс придатності.

1. Вступ

Україна, будучи членом Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО), взяла на себе відповідальність щодо дотримання високих вимог до забезпечення безпеки польотів. Забезпечення безпеки польотів включає комплекс заходів, в тому числі, організацію надійної та безперебійної експлуатації всіх систем повітряного судна (ПС), в переліку яких не є виключенням гідравлічна система повітряного судна та її агрегатів.

Гідравлічні системи повітряного судна функціонують як силові пристрої та приводи в механізмах випуску і прибирання шасі, гальмівних щитків, зміни форми та геометрії крила, управління двигунами та повітряними гвинтами. Робочим тілом гідравлічної системи повітряного судна є гідравлічна олива і тому від її властивостей залежать техніко-економічні показники та надійності всієї гідравлічної системи. Ефективність експлуатації і надійність роботи повітряних суден забезпечується застосуванням гідравлічних олив, властивості яких відповідають заданим умовам. Мірою відповідності властивостей гідравлічних олив умовам експлуатації авіаційної техніки є їх якість. Якість гідравлічних олив характеризується комплексом властивостей, які проявляються в процесі експлуатації повітряних суден, їх називають експлуатаційними. Експлуатаційні властивості гідравлічних олив впливають на такий з основних показників надійності техніки, як безвідмовність роботи гідравлічної системи ПС та її елементів. Особливо важливим є те, що втрата працездатності гідравлічної системи і окремих її агрегатів, може наступати в процесі експлуатації як поступово, так і раптово, зрозуміло, створюючи загрозу безпеці польоту.

Гідравлічна олива (або рідина) для гідравлічних систем ПС цивільної авіації типу «Гідронікойл FH-51» виготовляється французькою фірмою «Ніко» на мінеральній основі, тобто є продуктом переробки нафти, і поставляється в Україну через фірми-посередники. Технологічні процеси виробництва забезпечують такий вуглеводневий склад, який обумовлює оптимальні експлуатаційні властивості, а саме: достатню хімічну стабільність, високу змащувальну здатність, оптимальну в'язкість у широкому діапазоні робочих температур, досить низьку випарову-

ваність, що забезпечуватиме необхідний в експлуатації рівень надійності та ефективності роботи гідравлічної системи ПС. Здатність оливи зберігати хімічний склад і експлуатаційні властивості в межах, що забезпечують надійність роботи гідравлічної системи ПС, визначає її гарантований ресурс придатності.

Під час експлуатації перебігає процес старіння гідравлічних олив, що знижує рівень надійності роботи гідравлічної системи ПС та її агрегатів. У цьому зв'язку є актуальною задача визначення оптимального вуглеводневого та структурно-групового складу гідравлічної оливи через певний час її експлуатації, за якого гарантований ресурс придатності зберігається.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Автори робіт [1–5] досліджували можливість поліпшення протизносних властивостей робочих рідин за допомогою їх обробки електростатичним полем. Завдяки формуванню локальних електростатичних полів на продуктах зносу, значення напруженості яких багаторазово перевищують значення напруженості зовнішнього поля, виявляється можливим інтенсифікувати процес покриття продуктів зносу оболонкою поверхнево-активних речовин. У результаті чого знижується швидкість зносу, що призводить до підвищення ресурсу гідроприводів транспортних машин та енергозбереження. Авторами розроблена математична модель формування оболонки поверхнево-активних речовин на продуктах зносу в умовах інтенсифікації адсорбційних процесів електростатичним полем; розкрито механізм формування граничних змащувальних шарів на поверхнях вузлів тертя гідроприводів транспортних машин при електрообробці робочої рідини. Експериментальні дослідження авторів показали, що швидкість зношування в результаті електрообробки робочої рідини знижується в 2,75–3,94 рази і залежить від розмірів продуктів зносу.

Розробці методів тонкої очистки авіаційних гідравлічних рідин від емульсійної води та механічних домішок із застосуванням квазіпостійного електричного поля присвячені роботи [6–13]. Авторами показано, що в межах одного року більш ніж у 30 % випадків льотних

пригод пов'язано з відмовами й ненадійною роботою паливорегулювальної апаратури авіадвигунів, 50–60 % всіх відмов повітряних суден пов'язано з порушенням роботи гідравлічних і паливних систем разом узятих. Із кожних 100 авіаційних ситуацій в гідросистемах 15 % відбувається внаслідок забруднення робочих рідин. З причин забруднення авіаційних гідравлічних рідин емульсійною водою та механічними домішками в 10–12 разів знижується ресурс гідронасосів, а тривалість нормального функціонування плунжерних пар паливорегулювальної апаратури — у три рази. Експериментальні дослідження, виконані авторами, дозволили розробити оптимальну конструкцію поляризаційного електродегідратора, який забезпечує безперервне видалення дисперсної фази із зони фільтрації в зону накопичення емульсійної води і механічних домішок для утилізації. Лабораторні випробування розробленого методу, застосовані до очищення авіаційної гідравлічної оливи «Гідронікойл», авіаційної оливи «Турбо-Нікойл», авіаційного палива ТС-1, трансформаторної оливи, показали, що ефективність цього методу тонкого очищення вказаних рідин в 5,68 разів вища за ефективність механічних фільтрів фірми «Палл», а зниження кількості частинок забруднень у 60 разів перевищує кращі поліпропіленові фільтри Р200.

Авторами робіт [14–19] проведено комплекс досліджень з вивчення основних процесів, які спричиняють старіння гідравлічних оливи типу РМ під час зберігання та експлуатації в автономних гідроприводах систем управління ракетно-космічною технікою. На підставі експериментальних досліджень автори встановили, що основними процесами старіння, які визначають зміну якості цих оливи в умовах експлуатації, є окиснення, радіоліз та хімічна трибодеструкція змащувальної плівки в вузлах тертя. Авторами визначено оптимальний груповий вуглеводневий склад гідравлічних оливи для автономних гідроприводів, який забезпечує їхній високий ресурс роботи, а саме, не більше 1,4 % мас. аренових вуглеводнів; не менше 65 % мас. циклоалканових, які містять не більше 20 % мас. три і більше кілець; 30–35 % мас. ізоалканових вуглеводнів. Також досліджено механізм дії антиокиснювальної присадки дифеніламін на процеси окиснення різних груп вуглеводнів.

Таким чином, аналіз публікацій показав, що дослідження ведуться, в основному, в напрямі поліпшення протизносних властивостей гідравлічних оливи та розроблення нових методів їх очищення від води та механічних домішок, і спостерігається дуже мало публікацій, присвячених вивченню процесів старіння гідравлічних авіаційних оливи, зокрема типу «Гідронікойл FH-51», в процесі експлуатації. Слід зазначити, що лише очищення гідравлічних авіаційних оливи від води та механічних домішок не може забезпечити збереження гарантованого ресурсу її придатності, бо олива має обернену гігроскопічність. Тобто, при зміні зовнішнього тиску, або температури, або атмосферної вологості вода із розчиненого стану виділяється у вигляді мікроскопічних крапель в оливу. Обернена гігроскопічність, не зважаючи на те, що ці оливи мають обмежену гігроскопічність, зумовлює те, що в оливі поступово накопичується доволі значна кількість емульсійної води. Під час роботи гідравлічної системи ПС вода циркулює в системі разом з гідравлічною рідиною і утворюється емульсія. Стійкі емульсії води та гідравлічної оливи утворюють в'язкий шлам, який засмічує агрегати

гідравлічної системи; емульсії переносять по системі абразивні частинки; підвищується хімічна агресивність оливи та її корозійна активність [20].

Отже, проблема дослідження процесів старіння гідравлічної авіаційної оливи типу «Гідронікойл FH-51» під час експлуатації повітряного судна залишається актуальною.

3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єктом даного дослідження виступає процес хімічних перетворень вуглеводнів оливи «Гідронікойл FH-51» при її експлуатації.

Слід зазначити, що цілі даного дослідження можна умовно поділити на загальні та поточні, що створюють умови досягнення загальних.

У цьому зв'язку загальним є визначення глибини хімічної перетворюваності вуглеводнів через певний час експлуатації оливи «Гідронікойл FH-51», коли ще зберігається гарантований ресурс придатності оливи. Інакше кажучи, ланцюг «час експлуатації оливи → старіння оливи → гарантований ресурс придатності оливи», у кінцевому підсумку становить мету досліджень. Оскільки олива «Гідронікойл FH-51» являє собою суміш вуглеводнів та присадок, досягнення цієї мети представляється авторам статті через поступове визначення напрямів та глибини хімічних перетворень груп вуглеводнів за певні інтервали часу експлуатації оливи в гідравлічній системі ПС.

У зв'язку з цим на першому етапі цілком досліджень, результати яких презентуються у даній статті, є встановлення вуглеводнево-групового складу оливи «Гідронікойл FH-51» в процесі старіння. Відповідно до поставленої цілі дослідження визначено такі задачі:

- дослідження фракційного складу оливи.
- дослідження структурно-групового та гомологічного складу фракцій оливи.

4. Матеріали та методи дослідження

Для дослідження були відібрані модельні зразки гідравлічної оливи «Гідронікойл FH-51» на етапі поставки М1 (товарна), з реальних гідравлічних систем повітряних суден М2 та М3 через напрацювання 300 та 380 годин відповідно, та М4 відпрацьованої оливи зливої із гідросистеми ПС після 3600 годин напрацювання. На рис. 1 подана методологічна схема досліджень.

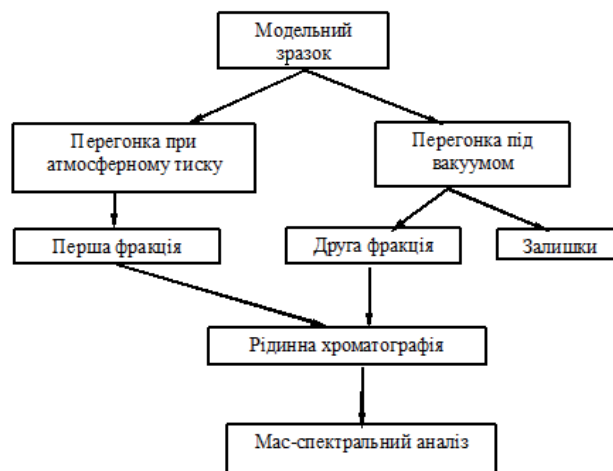


Рис. 1. Методологічна схема досліджень

Кожен модельний зразок розділявся на першу, другу фракції та залишок методом атмосферно-вакуумної розгонки за ГОСТ 2177-66 [21]. Мас-спектральний аналіз структурно-групового складу модельних зразків після їх розділення на групи вуглеводнів методом рідинної хроматографії проведено на мас-спектрометрі LKB-2091 (Швеція) за методикою [22].

Дослідження проведені на експериментальній базі Українського науково-дослідного інституту нафтопереробної промисловості «МАСМА».

5. Результати досліджень вуглеводнево-групового складу оливи «Гідронікойл FH-51»

5.1. Результати фракціонування зразків оливи «Гідронікойл FH-51». Результати дистиляції модельних зразків методом атмосферно-вакуумної перегонки наведено в табл. 1. Перша фракція відбиралася в інтервалі температур, що відповідають початку кипіння (ПК) та до появи димності при атмосферному тиску. Друга фракція переганялася під вакуумом під тиском 1 мм рт. ст. до появи димності.

Як бачимо, вихід першої фракції зразку М2 на 5,2 % менше, чим аналогічної фракції зразка М1. Вихід першої фракції зразку М3 менше на 22,3 %, чим у зразка М1. Відповідно збільшився вихід других фракцій зразків М2 на 6,2 % та М3 на 22,9 % у порівнянні із зразком М1.

Таблиця 1

Характеристики фракційного складу зразків оливи «Гідронікойл FH-51»

Фізичні характеристики	Зразки			
	М1	М2	М3	М4
Початок кипіння (ПК), °C	208	208	205	123
Вихід перших фракцій, % мас.	71,6	66,4	49,3	73,8
Межі википання других фракцій, °C (при 760 мм рт. ст.)	285–354	236–344	242–340	285–354
Вихід других фракцій, % мас.	16,9	23,1	39,8	16,4
Залишок, % мас.	11,0	10,0	10,8	9,0
Втрати, % мас.	0,5	0,5	0,1	0,8

Це свідчить про перебіг процесів термодеструкції та ущільнення молекул вуглеводнів, що спричиняють зменшення кількості низькокиплячих вуглеводнів у складі гідравлічної оливи з часом роботи в гідравлічній системі та збільшення відповідно висококиплячих.

Проте, вихід першої та другої фракції зразка рідини М4 практично дорівнює виходу цих самих фракцій зразка М1. Отже, наявні підстави, що уможливають висунути гіпотезу про те, що з наближенням до граничного часу роботи оливи в гідравлічній системі ПС перебігає низка вторинних процесів деструкції та ущільнення новоутворених молекул вуглеводнів з перетворенням цих структур на легкі хімічні сполуки.

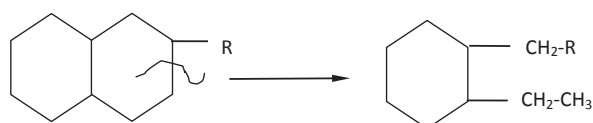
5.2. Результати дослідження структурно-групового та гомологічного складу зразків оливи «Гідронікойл FH-51». Результати дослідження перших фракцій зразків оливи подано в табл. 2.

Таблиця 2

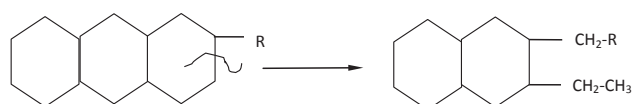
Фізико-хімічні характеристики структурно-групового і гомологічного складу перших фракцій зразків оливи FH-51

Найменування типів вуглеводнів і їх гомологів	Вміст, % відн.			
	М1	М2	М3	М4
Парафіни	9,6	13,9	11,6	21,0
Нафтени, в тому числі:	85,9	81,6	68,9	73,2
— моно-	27,7	20,8	21,0	27,6
— бі-	43,1	42,6	34,7	33,6
— три-	14,0	17,5	12,6	11,7
— тетрациклічні	1,1	0,7	0,6	0,3
Ароматичні вуглеводні, в тому числі:	4,5	4,5	19,5	5,8
алкілбензоли, а саме:	2,8	2,7	12,9	3,8
— бензол	—	—	—	—
— толуол	—	6,0	4,4	—
— ксилоли	—	7,5	12,2	—
— ізомери C ₉	—	8,7	10,3	—
C ₁₀	—	5,9	7,5	—
C ₁₁	—	7,0	8,2	—
C ₁₂	—	9,5	9,8	—
C ₁₃	—	14,1	10,7	—
C ₁₄	—	13,9	11,9	—
C ₁₅	—	12,0	12,9	—
C ₁₆	—	8,3	6,5	—
C ₁₇	—	5,0	3,5	—
C ₁₈	—	2,1	2,2	—
Мононафтенбензоли	1,3	1,1	5,1	1,5
Дінафтенбензоли	0,4	0,4	1,3	0,5
Нафталіни	—	0,3	0,2	—
Вихід перших фракцій, % мас.	71,6	66,4	49,3	73,8

Як бачимо, в зразку М3 суттєво зменшився вміст нафтенівих вуглеводнів, зокрема, бі- та трициклічних вуглеводнів порівняно як із зразком М1, так і зразком М2. Натомість, у зразку М3 значно зріс вміст ароматичних вуглеводнів, особливо алкіл бензолів (на 10,2 %), порівняно із зразками М1 та М2. Причому, значно зріс вміст тільки гомологів C₉-C₁₁ порівняно із зразком М2, що свідчить про наявність реакцій деструкції, тобто розриву нафтенівих кілець в бі- та трициклічних структурах. У біциклічних нафтенівих вуглеводнів розрив кільця перебігає за наступною схемою з утворенням мононафтенівих вуглеводнів:

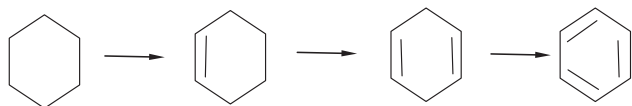


У трициклічних нафтенівих вуглеводнів розрив кільця перебігає за наступною схемою з утворенням біциклічних нафтенів:

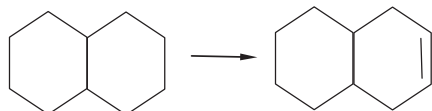


Далі перебігають реакції дегідрування новоутворених моно- і біциклічних нафтенівих вуглеводнів з утворенням цикломоно- і циклодіолефінових та ароматичних

вуглеводнів. Наприклад, із моноолефінових вуглеводнів утворюються алкілбензоли за такою схемою:



Утворення інденів або ізомерних їм тетралінів відбувається із біциклічних нафтенів, наприклад, за такою схемою:



У результаті чого утворюються ненасичені нафтеніві вуглеводні з одним та двома подвійними зв'язками і алкілбензоли. Перебіг таких хімічних перетворень в молекулах нафтових вуглеводнів підтверджують дані табл. 2, тобто, як вже було сказано вище, в зразку оливи М3 спостерігається як загальне зменшення вмісту нафтенів, так і саме бі- та трициклічних нафтових структур. У свою чергу значно збільшується вміст ароматичних вуглеводнів.

Утворені ненасичені моно-, бі- та трициклічні нафтові структури є менш стабільними, здатними до ущільнення. Саме ущільнення ненасичених нафтоароматичних сполук, що утворюються в процесах дегідрування, і призводить до зменшення вмісту у перших фракціях зразків М2, М3 та М4 всіх типів нафтових сполук і збільшення вмісту відповідних сполук, які мають більшу молекулярну масу і більш високу температуру википання. Внаслідок цього збільшився вихід других фракцій цих зразків порівняно з зразком М1 (табл. 1).

6. Обговорення результатів дослідження вуглеводнево-групового складу оливи «Гідронікойл FH-51»

Слід зазначити, що гідравлічна олива «Гідронікойл FH-51» — це суміш вуглеводнів та виробляється на основі низькозастигаючої фракції нафти з застосуванням процесів депарафінізації і деароматизації, і містить, переважно, нафтові вуглеводні — 85,9 % відн. (табл. 2, зразок М1), 9,6 % відн. — парафінові та 4,5 % відн. — ароматичні вуглеводні. Бо саме такий вуглеводневий склад оливи на етапі поставки (зразок М1) забезпечує оптимальні експлуатаційні властивості, про що було сказано вище. На жаль, перебіг фізико-хімічних процесів при її експлуатації в гідравлічній системі повітряного судна, має таку дію, що цей оптимальний склад не зберігається (старіння оливи), що впливає на гарантований ресурс придатності оливи. Нам, експлуатантам оливи, не під силу «відмінити» перебіг цих процесів, ми можемо їх вивчати та шукати заходи, щоб послабити наслідки, тобто не допустити зниження надійності гідравлічної системи. У цьому зв'язку запропонована методологія досліджень, а саме, оливу слід розділити на окремі фракції вуглеводнів, що википають при різних температурах, а потім визначити їх груповий та гомологічний склад. Виявилось в ході досліджень, що

при атмосферному тиску повністю розділити зразки оливи на окремі фракції не представляється можливим. Саме тому частина зразків, коли починається термічне руйнування вуглеводнів під час розгонки (поява димності), розділено під вакуумом (друга фракція). У табл. 1 межі википання других фракцій подано у значеннях, які переходять на температури википання при атмосферному тиску. На наступних етапах дослідження вивчення структурно-групового та гомологічного складу отриманих фракцій зразків виконується вищеописаними методами (рис. 1).

Результати дослідження хімічних перетворень у структурно-груповому складі фракції гідравлічної оливи «Гідронікойл FH-51», відібраної під атмосферним тиском, уможливають пояснити причини перерозподілу відсоткового виходу, як перших, так і других фракцій, який відбувається під час роботи оливи в гідравлічній системі повітряного судна (зразки М2 та М3). У цьому зв'язку результатом хімічних реакцій, які перебігають в бі- та трициклічних нафтових структурах перших фракцій, є ненасичені та ароматичні вуглеводні, що провокують подальші процеси утворення висококиплячих вуглеводнів, які накопичуються в других фракціях. Проте не знайдено пояснення різкого збільшення ароматичних вуглеводнів та вуглеводнів цього гомологічного ряду, особливо у зразку М3 в порівнянні із зразками оливи М1 та М2. Як бачимо з табл. 2, суттєво збільшився вміст ізомерів алкілбензолів з кількістю атомів вуглецю C₉-C₁₁, мононафтенбензолів та дінафтенбензолів у зразку оливи М3 порівняно зі зразками М1 та М2. Отримані результати свідчать про перебіг низки перетворень у молекулах ароматичних вуглеводнів, які не вдалося виявити методами, застосованими при проведенні презентованих досліджень, що показує необхідність подальшого детальнішого дослідження структурно-групового та гомологічного складу других фракцій та залишків після перегонки.

7. Висновки

В результаті проведених досліджень:

- знайдено типи хімічних реакцій, які спричиняють зміни у вуглеводнево-груповому та гомологічному складі першої фракції гідравлічної оливи «Гідронікойл FH-51»;
- встановлено, що особливістю перебігу реакцій деструкції в молекулах бі- та трициклічних нафтових вуглеводнів перших фракцій модельних зразків оливи є утворення моно- та біциклічних нафтових вуглеводнів відповідно;
- показано, що результатом їхнього дегідрування є нестабільні цикломоно- і циклодіолефінові та ароматичні вуглеводні;
- доведено, що ущільнення цих нестабільних вуглеводнів спричиняє з часом експлуатації оливи до зменшення як вмісту у перших фракціях всіх типів нафтових сполук, так і зменшення саме виходу перших і збільшення виходу других фракцій відповідно.

Таким чином, отримані результати вимагають продовження досліджень щодо детальнішого визначення хімічного, структурно-групового, гомологічного складу модельних зразків оливи, про що планується викласти у наступних статтях.

Література

- Лысиков, Е. Н. Влияние микронеровностей поверхностей трибосопряжений на процессы адсорбции [Текст] / Е. Н. Лысиков, В. Б. Косолапов, А. С. Шулика // Сборник научных трудов ХНАДУ. Автомобильный транспорт. Совершенствование машин для земляных и дорожных работ. — Харьков: РИО ХНАДУ, 2003. — Вып. 11. — С. 61–64.
- Лисіков, Є. М. Роль продуктів зносу трибосполучень гідроприводів в умовах обробки робочої рідини електростатичним полем [Текст] / Є. М. Лисіков, О. С. Шуліка // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті. — Харків, 2004. — Вип. 58. — С. 54–58.
- Лысиков, Е. Н. Физические основы интенсификации процесса самоорганизации узлов трения гидроприводов путевых и строительных машин в режиме граничной смазки [Текст] / Е. Н. Лысиков, С. В. Воронин, А. С. Шулика // Вісник НТУ «ХПИ». Автомобіле- та тракторобудування. — Харків, 2005. — Вип. 10. — С. 83–86.
- Лисіков, Є. М. Формування локальних електричних полів на продуктах зносу поверхонь тертя гідроприводів колійних та будівельних машин [Текст] / Є. М. Лисіков, С. В. Воронін, О. С. Шуліка, Є. А. Бобров // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Удосконалення управління експлуатаційною роботою залізниць. — Харків, 2005. — Вип. 66. — С. 112–117.
- Лысиков, Е. Н. Состав и структура жидких смазочных сред в условиях эксплуатации технических систем [Текст] / Е. Н. Лысиков, А. С. Шулика, В. А. Стефанов и др. // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого складу залізниць та спеціальної залізничної техніки. — Харків, 2005. — Вип. 69. — С. 125–130.
- Garazha, V. V. The analysis and the trends of electrocleaners development [Text] / V. V. Garazha, Y. P. Davidenko, Dinh Tan Hung // Proceedings of the National Aviation University. — K.: NAU, 2005. — № 2. — P. 45–48.
- Гаража, В. В. Аналитическая оценка эффективности работы электроочистителя с волокнистым диэлектрическим наполнителем [Текст] / В. В. Гаража, Динь Тан Хынг // Вісник НАУ. — К.: НАУ, 2007. — № 1. — С. 153–158.
- Гаража, В. В. Методики оценки эффективности очистки гидравлического масла «Гидро-Никоиль» от механических загрязнений [Текст] / В. В. Гаража, Динь Тан Хынг // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2007». — К.: НАУ, 2007. — Т. II. — С. 33.75–33.78.
- Гаража, В. В. Оценка эффективности разрушения суспензии в квазипостоянном электрическом поле поляризованного электроочистителя [Текст] / В. В. Гаража, Динь Тан Хынг // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2009». — К.: НАУ, 2009. — Т. I. — С. 17.65–17.68.
- Гаража, В. В. Выбор поляризованного наполнителя для разрушения водно-масляных эмульсий в квазипостоянном электрическом поле электродегидратора [Текст] / В. В. Гаража, С. А. Халиль // Вестник КМУГА. — К.: КМУГА, 1999. — № 2. — С. 248–255.
- Гаража, В. В. Очистка авиационных гидравлических и моторных масел от эмульсионной воды и механических примесей в квазипостоянном электрическом поле [Текст] / В. В. Гаража, С. А. Халиль // Вестник КМУГА. — К.: КМУГА, 1998. — № 1. — 2 с.
- Динь Тан Хынг. Анализ результатов экспериментальных исследований электроочистки гидравлического авиационного масла «Гидро-Никоиль» и эффективности работы электроочистителя [Текст] / Динь Тан Хынг // Вісник Інженерної Академії України. — 2009. — № 3, 4. — С. 8–13.
- Халиль, С. А. Экспериментальная установка и методика разрушения водно-масляных эмульсий в квазипостоянном электрическом поле [Текст]: сб. науч. трудов / С. А. Халиль // Проблемы эксплуатации и надежности авиационной техники. — К.: КМУГА, 1998. — № 1. — С. 34–37.
- Тыщенко, В. А. Оценка старения гидравлических масел [Текст] / В. А. Тыщенко, Т. Н. Шабалина, Е. В. Лобзин, Л. А. Полякова, Л. Д. Калинина // Химия и технология топлив и масел. — 1993. — № 7. — С. 35–36.
- Тыщенко, В. А. Комплексное газохроматографическое исследование влияния углеводородного состава маловязких масел спецназначения на их радиационную стойкость [Текст] / В. А. Тыщенко, И. И. Занозина, Т. Н. Шабалина, Д. Е. Диска // Матеріали XI Всероссийской конференции по газовой хроматографии, 26 июня 1995. — Самара, 1995. — С. 7.
- Тыщенко, В. А. Количественная характеристика окисляемости гидравлических масел [Текст] / В. А. Тыщенко, Б. Л. Психа, В. В. Харитонов, Т. Н. Шабалина, Н. А. Шейкина // Нефтехимия. — 2003. — Т. 43, № 5. — С. 366–372.
- Шабалина, Т. Н. Влияние состава маловязких гидравлических масел на трибологические свойства [Текст] / Т. Н. Шабалина, С. Э. Каминский, В. А. Тыщенко // Наука и технологии в промышленности. — 2004. — № 2. — С. 66–71.
- Шейкина, Н. А. Влияние углеводородного и структурно-группового состава основ гидравлических масел РМ и МГ-7-Б на их эксплуатационные свойства [Текст] / Н. А. Шейкина, В. А. Тыщенко, Т. Н. Шабалина, О. Е. Шабалина // Известия ВУЗов. Серия «Химия и химическая технология». — 2005. — Т. 48, № 10. — С. 43–47.
- Шейкина, Н. А. Механизм ингибирующего действия дифениламина в процессе окисления гидравлических масел [Текст] / Н. А. Шейкина, Л. В. Петров, Б. Л. Психа, В. В. Харитонов, В. А. Тыщенко, Т. Н. Шабалина // Нефтехимия. — 2006. — Т. 46, № 1. — С. 37–43.
- Комаров, А. А. Надежность гидравлических устройств самолетов [Текст] / А. А. Комаров. — М.: Машиностроение, 1976. — 224 с.
- Нефтепродукты. Методы испытаний [Текст]. — М.: Изд. стандартов, 1977. — Ч. 1. — 450 с.
- Полякова, А. А. Молекулярный масс-спектральный анализ нефтей [Текст]. — М.: Недра, 1973. — 184 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАРЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАСЕЛ. I. ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ

Исследовано особенности протекания реакций деструкции в молекулах би- и трициклических нафтеновых углеводородов, содержащихся в первых фракциях модельных образцов гидравлического масла «Гидроникойл FH-51», с целью выяснения механизма старения масла. Установлено, что вследствие протекания процессов деструкции молекул углеводородов, дегидрирования и уплотнения продуктов этих реакций, наблюдается уменьшение количества низкокипящих углеводородов, и увеличение соответственно высококипящих в составе фракции гидравлического масла с течением времени эксплуатации в гидравлической системе воздушного судна.

Ключевые слова: старение масла, масс-спектральный анализ, деструкция молекул углеводородов, гарантированный ресурс годности.

Кузнецова Елена Яковлевна, доктор педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой теоретической та прикладной физики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: elena2055@ukr.net.
Нетреба Жанна Миколаївна, асистент, кафедра теоретической та прикладной физики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: ganna2013@ukr.net.

Кузнецова Елена Яковлевна, доктор педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической и прикладной физики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.
Нетреба Жанна Николаевна, ассистент, кафедра теоретической и прикладной физики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Kuznetsova Helena, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: elena2055@ukr.net.
Netreba Janna, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ganna2013@ukr.net