

УДК 620.178

Р.М. Джус, М.Г. Стадніченко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ВИБІР СПОСОБУ УСУНЕННЯ ВІДМОВ ГІДРОСИСТЕМ ЛІТАКІВ, ЩО ВИНΙΚАЮТЬ ВНАСЛІДОК ОБВОДНЕННЯ ГІДРОРІДИНИ

Обґрунтовано вибір фільтрування, як способу усунення відмов агрегатів гідросистем літаків внаслідок обводнення АМГ-10. Визначено, що серед методів зневоднення гідрорідини найефективнішим і найменш енергоємним є метод фільтрування, а найбільш перспективним матеріалом для фільтрувальної установки можна вважати фторопласт-4.

відмови гідроагрегатів, обводнення АМГ-10, фільтрування гідрорідини, сепарація води

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури.

Однією з основних вимог, що ставляться до нафтопродуктів, є відсутність в них води [1]. Встановлено, що вода потрапляє у них практично на всіх етапах транспортування, зливу, зберігання, наливання і заправки [2]. При транспортуванні залізницею часткове обводнення може відбуватися внаслідок поганої герметизації люків залізничних цистерн. На нафтобазах обводнення нафтопродуктів відбувається за рахунок попадання атмосферних опадів у складські резервуари і місткості автоцистерн, а також при зливоналивних операціях за рахунок змішування із залишками підтоварної води. При зберіганні нафтопродуктів вільна вода утворюється в них в основному через конденсацію водяної пари, при зміні температури і тиску повітря в резервуарі [3].

Крім того, наявність води в стандартному паливі, що містить смолянисті сполуки, навіть у межах ГОСТ 17216-71, сильно впливає на ефективність його фільтрації, оскільки за рахунок збірної здатності крапельок води на їх поверхні утримуються органічні забруднювачі, які, досягнувши великих розмірів, здатні закривати пори фільтруючого матеріалу [4].

Не може уникнути цих проблем і авіація. Як свідчить великий досвід експлуатації літаків Л-39, даний тип авіаційної техніки (АТ) має суттєвий конструктивно-виробничий недолік, пов'язаний з несправностями агрегатів гідросистеми (ГС) через корозійні ураження їх деталей, які, у свою чергу, приводять до відмов, внаслідок яких є: невипуск (неприбирання) шасі, закрилків; відсутність гальмування, або наявність залишкового тиску в гальмах; внутрішня негерметичність основного та аварійного контурів ГС. На фоні цього існуюча на даний час у Повітряних Силах Збройних Сил України практика експлуатації АТ в межах раніше визначених годинних ресурсів з поетапним збільшенням міжремонтних (призначених) термінів служби зустрічає суттєві перешкоди.

Тому підвищення надійності і довговічності ГС літальних апаратів (ЛА) є важливою проблемою, яку неможливо вирішити без ефективного очищення гідрорідини (ГР) від вільної води.

Очищення ГР від дрібнодисперсної води дозволяє: підвищити надійність агрегатів ГС; підвищити експлуатаційні показники ЛА; знизити витрати на технічне обслуговування і ремонт літальних апаратів.

Слід зазначити, що можливість попадання вологи в ГР при її зберіганні, транспортуванні, заправці і застосуванні дуже велика, а видалення води з ГР та організація надійного контролю наявності води на всіх стадіях очищення пов'язані із значними труднощами і в даний час немає радикального вирішення цієї проблеми.

Метою даної статті є обґрунтований вибір (на основі накопиченого досвіду з вирішення цієї проблеми в інших галузях) раціонального способу видалення з ГР ЛА дрібнодисперсної води.

Результати досліджень

Розглядаючи способи дегідратації нафтопродуктів, слід зазначити, що найбільших успіхів наука та практика досягли у цьому питанні на автомобільному транспорті та сільськогосподарській техніці. У цих галузях вже давно та успішно ведеться боротьба з водою у дизельних паливах. У той же час дуже високі вимоги до виготовлення, транспортування та застосування нафтопродуктів в авіації обумовили відсутність, у більшості випадків, цієї проблеми.

Тому логічним буде використовувати досягнення та напрацювання з названих галузей, де досягнуті значні результати, а застосування досягнень з дегідратації дизельних палив дозволить розробити найбільш раціональний спосіб боротьби з водою у гідросистем літальних апаратів без внесення у неї конструктивних змін.

У даний час відомий ряд способів відділення вільної води від нафтопродуктів, які ґрунтуються на хімічних, фізичних і фізико-хімічних процесах: розділення водомасляної емульсії методом відстоюван-

ня [2]; відділення води методом центрифугування [5]; розділення емульсій в електричному полі [5]; зневоднення нафтопродуктів пористими матеріалами [6, 7]. Ці способи описані у ряді монографій [1, 2, 5] і технологічних процесах нафтових виробництв. Проте лише небагато з відомих способів руйнування емульсій і відділення води від нафтопродуктів можуть бути застосовані для зневоднення гідравлічної рідини.

Розділення водомасляної емульсії методом відстоювання. Одним з поширених методів зневоднення ГР є метод відстоювання [2].

Осадження глобул води здійснюється під дією сил гравітаційного поля.

Глобули води, під дією сили тяжіння, з часом осідають, утворюючи деякий розподіл їх концентрації по висоті резервуара, а, доходючи до дна резервуара, випадають в осад, утворюючи підтоварну воду. Процеси коагуляції і коалесценції глобул води без докладання зовнішніх дій у водомасляній емульсії практично не протікають, і руйнування дисперсної системи відбувається тільки за рахунок седиментації. При відстоюванні відбувається не руйнування емульсії, а розділення на чисте масло і концентровану емульсію в нижній частині резервуара.

Відстоювання в гравітаційному полі є найпростішим методом очищення масла, який не вимагає витрат енергії і складного устаткування. Недоліком даного методу є тривалість процесу, оскільки внаслідок невеликої різниці в питомих масах води і масла та малих розмірів глобул осідання їх іде дуже повільно.

Наприклад, час осадження глобул води розміром 5 – 7 мкм на глибину 1 м може досягати 25 діб.

Відділення води методом центрифугування. Для прискорення очищення ГР від забруднень застосовують відцентрові очищувачі (центрифуги), в яких зневоднення ГР здійснюється під дією сил відцентрового поля. Так само як і метод відстоювання, цей метод ґрунтується на законі Стокса, тільки сила земного тяжіння P замінена в ньому еквівалентною їй відцентровою силою [5]:

$$P = kmRn^2(1),$$

де k – коефіцієнт, що включає всі постійні величини;

m – маса глобули води;

R – радіус обертання центрифуги;

n – кількість обертів за хв.

З виразу (1) видно, що для підвищення ефективності зневоднення нафтопродуктів необхідно підвищувати кількість обертів центрифуги. Зараз застосовуються центрифуги з числом оборотів ротора до 8000 об/хв. У результаті цього швидкість очищення масла від забруднень в 2000 разів більше, ніж при звичайному відстоюванні.

До недоліків даного методу відносяться: великі енергетичні витрати, необхідність у кваліфікованих фахівцях, висока вартість центрифуг, а також неможливість відділення глобул води розміром менше 3 мкм.

Розділення емульсій в електричному полі. У порівнянні з гравітаційним електричне поле приводить до збільшення швидкості відстоювання в десятки і сотні раз.

У постійному електричному полі глобули води мають звичайно негативний заряд, мігрують під впливом поля до електрода з протилежним знаком. При осіданні на електрод вони зливаються і утворюють плівку води, яка під дією сили тяжіння стікає вниз [5]. Із зменшенням діаметра глобул води ефективність електрозневоднення підвищується. Збільшення неоднорідності електричного поля приводить до збільшення коалесценції глобул води. Особливо вигідно застосовувати неоднорідне електричне поле для видалення дрібних глобул води (табл. 1).

Недоліками даного методу є складність апаратури і необхідність у кваліфікованому обслуговуючому персоналі. Також даний метод пожежонебезпечний.

Таблиця 1

Вплив радіуса глобул води на час їх осадження в різних полях

Радіус глобул, мкм	Час осадження глобул, год.	
	у гравітаційному полі	в електричному полі
1	5472	120
10	600	45
20	150	15
50	22	3
100	5,5	0,5

Зневоднення нафтопродуктів пористими матеріалами. Широке розповсюдження при зневодненні нафтопродуктів отримали методи, які ґрунтуються на застосуванні пористих матеріалів (методи фільтрації). Фільтри-сепаратори використовуються для зневоднення нафтопродуктів на різних етапах їх виробництва, транспортування, зберігання, заправки техніки і застосування при експлуатації цієї техніки [6, 7]. Для відділення води застосовують органічні і неорганічні матеріали волоконної будови, при цьому проводиться підбір волокон з різною гідрофобністю для отримання властивостей, що забезпечують найефективніше водовідділення. Волоконні фільтрувальні матеріали мають ряд істотних недоліків, основними з яких є: мала міцність, вимивання волокон, невисока хімічна стійкість, руйнування матеріалів у процесі фільтрування, трудність регенерації. Тому в останній час багато досліджень присвячено пошукам нових перспективних сепаруючих матеріалів неволоконної будови, вивчення їх властивостей і розробка на їх основі ефективного сепаратора ГР

[8, 9]. В основному дослідники приділяють увагу пористим матеріалам, як найбільш перспективним.

Застосування пористих матеріалів для зневоднення нафтопродуктів має багато переваг у порівнянні з іншими методами: з нафтопродуктів можна одночасно видаляти вільну воду і тверді частинки забруднень, використовуючи при цьому тільки кінетичну енергію потоку продукту, що очищається, без застосування сторонніх джерел енергії, що значно розширює галузь застосування фільтрів-сепараторів; відсутність у них деталей, що рухаються й обертаються, робить їх безпечними в експлуатації.

Розрізняють гідрофільні і гідрофобні пористі перегородки [2]. Відділення вільної води в пористих перегородках, що мають гідрофільні властивості (віскоза, бавовна та ін.), відбувається за рахунок вбирання фільтруючим матеріалом вологи до повного його насичення. Перегородки, виготовлені з гідрофобних матеріалів (капрон, хлорин та ін.), проникні для нафтопродуктів, але не пропускають крапель води, що містяться в них.

Для фільтрування гідравлічної рідини і сепарації з них води найперспективнішими могли б виявитися об'ємні пористі матеріали, що виготовляються на основі металів, кераміки, полімерів та інших матеріалів. У процесі водовідділення істотну роль відіграє взаємодія води з матеріалом основи фільтрувального елемента [8, 9]. Така взаємодія повинна визначатися як поверхневими властивостями матеріалу основи (значенням величини поверхневої енергії на межі розділу двох середовищ і краєвим кутом змочування), так і поровою структурою матеріалу (пористістю, максимальним і середнім діаметром пор, коефіцієнтом звивистості каналів, шорсткістю поверхні пір), які можуть відіграти важливу роль у процесі водовідділення.

У дослідженнях нових перспективних пористих матеріалів було досягнуто значних успіхів. Для розробки нових ефективних фільтрів-сепараторів для дегідратації нафтопродуктів у [10, 11] було докладно вивчено структуру різних пористих матеріалів.

Для одержання даних про структуру таких матеріалів у гранично широкому інтервалі значень пористості було розроблено графічну комп'ютерну модель з відтворенням усіх особливостей структурного стану пористого матеріалу і його порової структури.

Для встановлення адекватності моделі проведено зіставлення порових структур, отриманих графічним комп'ютерним моделюванням, з реальними поровими структурами. Для прикладу порівнювалися такі структури матеріалу з пористістю 74% (рис. 1) і результати їх порядкового сканування (рис. 2).

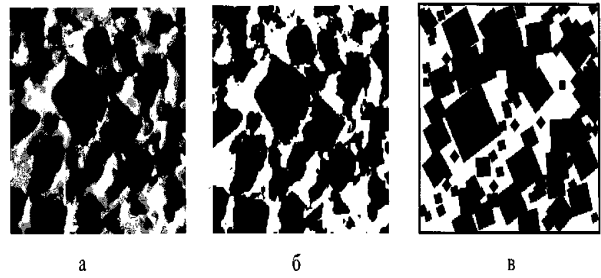


Рис. 1. Порів'я структури матеріалу з пористістю 74%:
а – реальна (збільшення x365);
б – реальна монохромна;
в – модельна

Зіставлення структур і результатів порядкового сканування показало, що модельна порова структура не тільки якісно, але й кількісно відбиває властивості реальної структури.

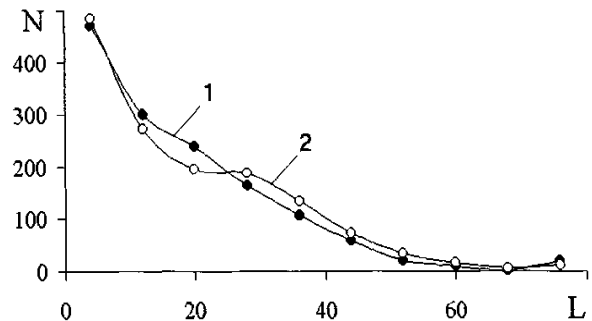


Рис. 2. Результати порядкового сканування порових структур: 1 – реальної; 2 – модельної

Методом графічного комп'ютерного моделювання були отримані порові структури матеріалів, формовані твердим пороутворювачем, що складається із часток одного розміру (30 мкм) кубічної форми. Дослідження було проведено в діапазоні пористості від часток 1% аж до значень, близьких до 100%. Використовувалися різні форми прямокутного поля моделювання, які характеризуються коефіцієнтом форми k . Значення k могли варіюватися в інтервалі значень від 0,1 до 10.

Для "об'ємного матеріалу" ($k=1$) отримана залежність R від загальної пористості Π у широкому діапазоні її значень із кроком зміни пористості 1% (рис. 3). Для кожного значення пористості отримані значення проточності шляхом усереднення даних при 2-кратному повторенні машинного експерименту. Видно, що в інтервалі пористості від 0 до 55% проточність слабо наростає. Основне наростання проточності має місце в інтервалі Π від 55 до 65%.

Для з'ясування ступеня ізотропності вивчалася проточність порової структури при її заповненні від верхньої грані (рис. 4, а) і від бічної грані (рис. 4, б).

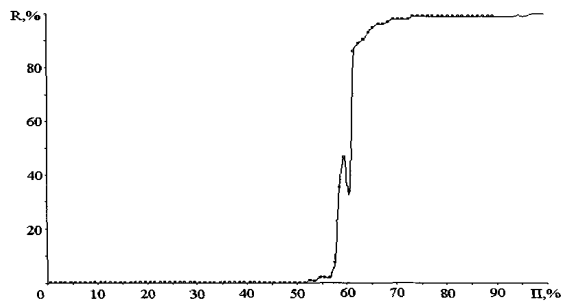


Рис. 3. Залежність проточності порової структури R від її пористості П

Характери порової структури й областей проточності не змінювалися.

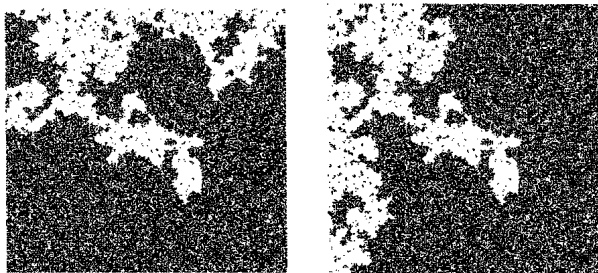


Рис. 4. Порова структура матеріалу з П = 58% і її проточність (область, виділена білими кольорами):
а – проточність від верхньої грані;
б – проточність від бічної грані

Визначено оптимальну пористість, що забезпечує оптимальну порову структуру матеріалу при заданому дисперсному складі пороутворювача. Методом графічного комп'ютерного моделювання встановлені оптимальні пористості чотирьох пористих матеріалів, утворених пороутворювачами з дисперсними складами, що різко відрізняються, а дослідження їх механічних властивостей підтвердили, що їх параметри є оптимальними, і метод знаходження цих значень пористості може бути використаний для пористих матеріалів, що готують із використанням пороутворювачів інших дисперсних составів. Отримані у [10 – 12] результати та зіставлення фізико-хімічних властивостей пористих матеріалів на різній основі показали, що якнайменшу поверхневу енергію, що визначає змочуваність і адгезійну здатність матеріалу, має фторопласт-4 [8 – 12]. Разом з тим, фторопласт-4, завдяки високій пластичності, дозволяє формувати контрольовану порову структуру, параметри якої можуть варіюватися в широких межах. Установлено високу ефективність водовідділення ($\eta = 98 - 100\%$) об'ємними пористими фторопластовими матеріалами.

Висновки

Таким чином, можна зробити висновки, що серед методів зневоднення ГР найефективнішим і найменш енергоємним є метод фільтрування. У зв'язку з цим, проблему відмов гідросистем літаків, ви-

кликаних обводненням ГР, можна вирішити шляхом пошуку нових перспективних сепаруючих матеріалів неволоконної будови, вивчення їх властивостей і розробки на їх основі ефективного сепаратора ГР. Огляд останніх досягнень у цій галузі показав, що серед матеріалів для нових ефективних фільтрів-сепараторів найбільш перспективним можна вважати фторопласт-4. Подальшим кроком у вирішенні проблеми відмов ГС внаслідок корозії слід вважати розробку конструкції пересувної фільтраційної установки для оперативного зневоднення АМГ-10 безпосередньо на стоянці літака без додаткових операцій зливу-заправки ГС та будь-яких конструктивних змін ЛА.

Список літератури

1. Рыбаков К.В., Коваленко В.П., Андреев С.П. Загрязненность нефтепродуктов: проблемы, предложения // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. – 1989. – № 3. – С. 37-38.
2. Коваленко В.П., Турчанинов В.Е. *Очистка нефтепродуктов от загрязнения*. – М.: Недра, 1990. – 160 с.
3. Чертков Я.Б., Рыбаков К.В., Зрелов В.К. *Загрязнения и методы очистки нефтяных топлив*. – М.: Химия, 1970. – 238 с.
4. Ючас П.И., Лабеецкая Г.А., Вилькавичус В.И. Надежность топливных фильтрующих элементов // *Механизация и электрификац. сельского хозяйства*. – 1991. – № 2. – С. 38-39.
5. Коваленко В.П. *Загрязнения и очистка нефтяных масел*. – М: Химия, 1978. – 304 с.
6. Barlet. J. Diesel fuel filtration // *Filtration & Separation*. – 1974. – №1. – P. 49-50.
7. Жулдыбин Е.Н., Коваленко В.П., Кустов И.А. Очистка светлых нефтепродуктов от механических примесей и свободной воды // *Транспорт и хранение нефти и углеводородного сырья*. – 1980. – № 4. – С. 28-33.
8. Калюжный А.Б., Платков В.Я., Калюжный Б.Г. Сепарация воды из дизельных топлив полимерным фильтрующим материалом ФЭП // *Вестник нац. технич. ун-та Украины "КПИ" (Машиностроение)*. – 1999. – Т. 2, № 36. – С. 549-553.
9. Калюжный А.Б., Платков В.Я., Калюжный Б.Г., Пилипенко Н.С. Обезвоживание дизельного топлива высокопористыми фильтрующими материалами на основе фторопласта-4 // *Вестник нац. технич. ун-та Украины "КПИ" (Машиностр.)*. – 1999. – № 35. – С. 149-158.
10. Калюжный А.Б., Платков В.Я., Сычев А.Н. Компьютерное моделирование поровой структуры фильтрующих материалов // *Вісник Інженерної академії України*. – X.: ІАУ, 2000. – С. 554-556.
11. Kalyuzhny A.B., Platkov V.Ya. Structure of porous materials and their permeability: determination by computer-aided simulation // *Functional Materials*. – 2001. – Vol. 8, № 1.–P. 90-93.
12. Kalyuzhny A.B., Platkov V.Ya. High porosity tetrafluoroethylene polymer for water separation from diesel fuel // *Functional Material*. – 2002. – Vol. 9, № 2. – P. 264-267.

Надійшла до редколегії 5.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук старший науковий співробітник О.Б. Леонтьев, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.