

Є.О. Баканов, Ю.О. Бейко, Г.П. Карабцов,
К.В. Ніконов, С.О. Пузік, В.І. Терьохін

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЧИСТОТИ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ І ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПЕРСПЕКТИВНИМИ МЕТОДАМИ ТА ЗАСОБАМИ ОЧИЩЕННЯ

Розглянуто проблему кондиційності реактивного палива в умовах експлуатації та рекомендовано заходи щодо його вирішення.

Надійність та ефективність експлуатації літальних апаратів значною мірою залежать від якості авіаційних палив і пально-мастильних матеріалів (ПММ). Одним з основних параметрів кондиційності авіаційних ПММ є їхня чистота.

Вплив забрудненості авіаційних палив і ПММ на роботу систем. Надійність та строк служби авіадвигунів значною мірою залежать від чистоти робочих рідин. Забрудненість негативно впливає на роботу агрегатів і вузлів повітряних кораблів (ПК).

Застосування на сучасних ПК двигунів із складною паливною та паливорегулювальною апаратурою вимагає підвищених вимог до чистоти авіаційних палив. Вміст у них забруднень понад 0,0002% за масою при тонкості фільтрації 5-8 мкм і вміст вільної води понад 0,003% не допускається [1].

Відомо, що підвищення тонкості очистки рідини з 20-25 мкм до 5 мкм збільшує ресурс насосів більше, ніж в 10 разів [2]. Особливу небезпеку становлять забруднення, які сумірно із зазорами прецизійних пар паливорегулювальної апаратури двигунів. Сучасні реактивні двигуни споживають величезну кількість палива, тому навіть при найменшому його забрудненні в деяких зонах паливних систем ПК воно може накопичуватися і в подальшому стати причиною порушень в роботі агрегатів.

Передчасне забивання фільтрів, забруднення регулювальної апаратури можуть призвести до аварій і вимушених посадок ПК. За даними зарубіжної статистики причиною 33% усіх аварій та катастроф ПК, а також 50% відмов авіаційних реактивних двигунів послужила забрудненість палива [3].

Дослідження показали, що зусилля, які необхідні для переміщення плунжерів золотникових розподільвачів, що вимірюються десятками грамів, можуть збільшуватися в сотні разів і досягати значень декількох десятків кілограмів. Подібне зростання необхідного зусилля може призвести до порушення нормальної роботи системи і пошкодження окремих її ділянок. Звідси зрозуміло, наскільки важливо попереджувати потрапляння забруднень в паливо ззовні та уникати утворення в ньому забруднень внаслідок окислювальних процесів навіть при підвищених температурах. Нерозчинні продукти окислення ПММ можуть також забруднювати фільтри та теплообмінні поверхні. Паперові фільтри ПК при нагріванні недостатньо стабільного палива до 120-135°C захаращуються за 4-5 год роботи [4].

Вимоги до чистоти авіаційних палив і ПММ. Джерелами забруднень палив і ПММ можуть бути: вода, мінеральні речовини ґрунтового пилу, продукти корозії та зносу, рослинні залишки, високомолекулярні смоли, солі органічних кислот, продукти життєдіяльності мікроорганізмів. Стандарти і специфікації вимагають відсутності в паливі нерозчинної емульсійної води, механічних домішок, водорозчинних кислот та лугів, мил нафтових к-

спот. Поява нових двигунів, машин та механізмів високої точності підвищують вимоги до чистоти авіаційних палив і ПММ. Як приклад в таблиці наведено вимоги до чистоти реактивного палива для реактивних двигунів, викладені в стандартах та специфікаціях різних країн.

Вимоги деяких фірм і країн до чистоти реактивного палива,
викладені в стандартах та специфікаціях

Найменування країн, фірм та їхніх стандартів і специфікацій	Допустима норма вмісту механічних домішок		Допустима норма вмісту води, %
Англійська фірма British Petroleum	Не більше 0,00024 %		Не більше 0,0015
Англійські повітряно-військові сили Рекомендації ІСАО	0,0001 (відсутність частинок більших за 5 мкм) Не більше 0,00012 %		Не більше 0,003
Специфікація США: Mil-F- 8901- 1961 Mil-I- 5624 –1961 Mil-T-56248 –1965 Mil-N-831333-1967	Не більше 0,5 мг/л (максимальний розмір частинок 5 мкм) Не більше 1,3 г/т Не більше 0,00013 мг/л Не більше 0,00012 мг/л		Не більше 0,0015 - - -
Канадські стандарти: 3-ср-221 (для заправки); 3-ср-242 (для зберігання)	Не більше 0,00024 мг/л Не більше 0,0012 мг/л		- -
Фірма ЕССО-1969	Не більше 0,00006 %		0,003
Паливний центр США	Не більше 0,000025 %		-
Фірма Millipor	Розмір частинок, мкм:	Число частинок (100 см ³) Не більше:	
	5-10	4600	
	10-25	1840	
	25-50	210	
	50-100	28	
	Більше 100	3	
ГОСТ 10227-86, п.21	Відсутність механічних домішок. Паливо в скляному циліндрі діаметром 40-55 мм при розгляді його в прохідному світлі не повинно вміщувати зважених й осілих на дно циліндра зайвих домішок і води		Відсутність вільної води
Наказ Міністра цивільної авіації за № 265 від 17.12.84 р.	Не більше 0,0002		0,003

На нафтопереробних заводах паливо на кінцевій стадії підлягає очищенню, обробці, промивці водою та фільтрації. При транспортуванні ПММ від постачальників в них можуть проникати залишки продуктів, які перевозилися раніше, при неякісному очищенні транспортних засобів. При довгому зберіганні в умовах позитивних температур в ПММ можуть розвиватися колонії мікроорганізмів. Нерозчинні продукти можуть утворюватися також в результаті протікання окислювальних процесів. Тому необхідно удосконалювати технологічні комплекси для очистки та обезводжування пального, мастил, рідин для гідросистем, які використовуються на підприємствах цивільної авіації (ЦА).

Методи забезпечення чистоти авіаційних палив і ПММ. У наш час на підприємствах ЦА запроваджена багатоступенева фільтрація авіаційного палива. Досвід експлуатації показує, що використання окремо взятих, навіть дуже ефективних фільтрів, не може забезпечити достатнього ресурсу їхньої роботи.

Поява в авіації реактивної техніки обумовила необхідність підвищити вимоги до чистоти робочих рідин. Так, для очистки палива застосовують різні методи, а саме: відстоювання палива на складах ПММ та очищення його за допомогою двох фільтрів з чотиришаровими чохлами (трьома шарами фільтросванбоя та одним шаром шовкової тканини), які встановлено на роздавальній колонці і в паливозаправнику.

Практика показала, що двоступенева система очистки палива для реактивних двигунів не задовольняє умови роботи паливних агрегатів, оскільки забруднення спричиняє їхнє швидке абразивне зношення. Пізніше було запроваджено тріступеневу очистку палива [4].

Згідно з технологічним процесом прийому, зберігання та видачі авіаційного палива на заправку і заправкою ПК розрізняють три зони очистки:

- 1) прийом, попереднє очищення та зберігання палива;
- 2) основна очистка і видача авіаційного палива в паливозаправник або систему централізованої заправки ПК;
- 3) очистка авіаційного палива фільтрами заправних засобів та заправка його в систему ПК.

Видачу підготовленого авіаційного палива в паливозаправник і систему централізованої заправки ПК здійснюють через пункт фільтрування, обладнаним такими фільтрами:

- фільтр ТФ-10 (ТФ-2М) із чохлам ТФЧ-16К або ТФЧ-150-200;
- фільтр-сепаратор СТ-500-2М із чохлам 7-183-10;
- фільтр ТФ-10 (ТФ-2М) із фільтропакетом ТФБ (8Д2.966.063 або 8Д2.966.700);
- фільтр ТФ-10 (ТФ-2М) із чохлам ТФЧ-16К або ТФЧ-150-200;
- фільтр-сепаратор СТ-2500 або фільтр-водовідділювач ФТВ-1500.

Передбачені також й інші заходи щодо попередження потрапляння забруднень в паливо під час перевезення його від нафтопереробного заводу до споживача, а саме:

- формування груп відстойних та роздавальних резервуарів з плаваючим пальноприймачем та пристроями для викачування відстою;
- установка повітряних фільтрів на резервуарах, цистернах, баках ПК;

забезпечення герметизації процесів перекачування палива та його заправки для захисту від пилу та вологи;

використання стійких матеріалів або антикорозійних покриттів всередині резервуарів на складах ПММ в паливоприймальних системах ПК;

періодичне видалення накопичених забруднень з резервуарів і їхня очистка; промивка резервуарів.

У лініях зливу палива для реактивних двигунів із залізничних цистерн використовують фільтри типу ФГН із чохлами з нетканного матеріалу у два шари.

Таким чином, технологія очищення палива від механічних домішок, що застосовується в ЦА, забезпечує необхідну норму його чистоти. Однак матеріальні витрати на очищення палива та трудомісткість експлуатації систем фільтрації досить високі. Отже, залишаються актуальними питання створення нових високоефективних засобів і технологій очистки авіаційного палива на підприємствах ЦА.

Основними задачами в нових умовах господарювання, які постали перед ЦА, є забезпечення безпеки та регулярності польотів, подальше підвищення ефективної експлуатації авіаційної техніки і рентабельності авіапідприємств. На всіх дільницях експлуатації авіаційної техніки здійснюються заходи щодо економії авіаційного палива, продовження ресурсів двигунів та агрегатів. У наш час необхідний рівень чистоти авіаційних палив і ПММ у системах ПК, на складах ПММ аеропортів та стендах ремонтних заводів ЦА досягається за допомогою традиційних фільтрів, обладнаних фільтрувальними пористими матеріалами. Але ці фільтри мають істотні недоліки (мала брудомісткість, великий гідравлічний опір, складність відновлення фільтроелементів тощо), які перешкоджають їх застосуванню.

Крім традиційних фільтрів, велику увагу приділяють так званим силовим очисникам, які залежно від фізичної природи силового поля поділяються на гравітаційні, відцентрові, магнітні й електричні.

Силові очисники мають багато переваг порівняно із фільтрами, а саме: відсутність мінних фільтрувальних елементів, малий гідравлічний опір, більшу брудомісткість. Однак перешкодою застосування силових очисників є їхня вага й габарити та потреба (в деяких випадках) у спеціальних джерелах енергії.

Гравітаційна очистка рідин. Одним з найбільш простих методів очищення рідин від абруднень у силовому полі є гравітаційна очистка. Проте обмаль досліджень з такого виду очистки потребує удосконалення гравітаційних очисників (ГО) та методів їх розробки.

В інженерній практиці важливим є розрахунок часу осідання забруднень в ГО та величини радіуса осаджувальних пластин, які забезпечують необхідну тонкість очистки.

Теоретичні й експериментальні дослідження очисників такого типу показали, що ефективність очищення палива залежить від часу перебування елементарного об'єму рідини ГО, яка в свою чергу залежить від об'ємної подачі палива через ГО. Ефективність очиски буде тим вищою, чим менша об'ємна подача через ГО.

Гравітаційні очисники, як правило, використовують для очистки малов'язких рідин від великих частинок. Їх можна використовувати при попередній очистці для збільшення терміну роботи фільтрів тонкої очистки.

На складах ПММ авіапідприємств ефект гравітаційної очистки авіаційного палива досягають шляхом забезпечення необхідного часу відстоювання в резервуарах: чотири години на кожний метр висоти напливу для реактивного палива і одна година - для бензинів. Щоб скоротити час на гравітаційну очистку палива видаткові резервуари обладнані плаваючими паливозаборними пристроями. Так, для резервуара, заповненого реактивним паливом на висоту 10 м відповідно до діючих норм час відстою повинен становити 40 год і при нижньому заборі палива з резервуара можна витратити тільки через 40 год. Якщо ж резервуар обладнаний пристроєм верхнього забору палива, то вже через чотири години шар палива товщиною в один метр можна відкачувати з резервуара, а ще через чотири години - наступний шар товщиною в один метр і т.д.

Спосіб гравітаційної очистки простий, загальнодоступний, не вимагає витрат енергії на безпосередній процес очистки. За сприятливих умов він може забезпечити повне вилучення частинок розміром понад 20 мкм і помітне зниження кількості частинок розміром 10 - 15 мкм.

Спеціально створені тонкошарові очисники можуть забезпечувати вищу тонкість очистки порівняно з очисткою у резервуарах і відстійниках. Ще кращої якості очистки рідини від механічних домішок можна домогтися зниженням впливу таких негативних чинників, як вібрація, зниження конвективних потоків, пульсація потоку рідини в очиснику, гідроудари та ін.

Відцентрова очистка рідин. Це відділення частинок забруднень з рідини, яка очищується, в поле відцентрових сил.

Відцентрове силове поле штучно створюється швидким обертанням рідини в роторі відповідного виконання. Створити відцентрове поле для очистки рідини можна двома способами: обертанням потоку рідини в нерухомому пристрої та обертанням ротора разом з рідиною, що міститься в ньому. Апарати першого типу називають гідроциклонами, а другого - центрифугами або відцентровими очисниками.

Гідроциклони мають циліндричну, циліндроконічну і конічну форми. За характером прямування рідини через внутрішню порожнину гідроциклонів вони можуть бути прямоточні і протиточні (напрям потоку змінюється на 180°). Закрутка потоку рідини в гідроциклонах забезпечується або установами спеціальних завихрювачів (аксиальні гідроциклони), або бічним (тангенціальним) підводом потоку рідини. Гідроциклони характеризуються такими позитивними властивостями: у них відсутні рухливі частини і тому немає потреби в їхньому ущільненні й обслуговуванні; мають просту конструкцію, великий термін служби. Велика пропускна здатність і низький гідравлічний опір (порівняно з фільтрами) дозволяють застосовувати їх як пристрої попередньої фільтрації і встановлювати на лініях зливу малов'язких нафтопродуктів із транспортних засобів. Центрифуги – це апарати, в яких очистка рідини здійснюється в роторі, що обертається з великою частотою. Якщо він одержує обертання від якогось механічного приводу (електродвигуна, двигуна внутрішнього згорання тощо), то такі центрифуги називають активними. На відміну від ак-

тивних є центрифуги реактивні. Обертання ротора таких центрифуг забезпечується енергією потоку рідини, що протікає через його внутрішню порожнину.

Відцентрові очисники різноманітні за своєю конструкцією. Їм притаманні ті або інші позитивні чи негативні якості. Теоретичні аспекти відцентрової очистки рідин, конструкції та класифікація очистки докладно розглянуто в роботі [2].

Вже багато років серійно випускається і широко використовується в авіаційній промисловості стенд для тонкої очистки рідин з тонкошаровою центрифугою ГЦН-904.

Конструкція відцентрового очисника ГЦН-904 виконана з тонкошаровою спіральною вставкою. Очисник ГЦН-904 призначений для очистки авіаційних топлив і рідини АМГ-10. За один прохід вилучаються практично всі тверді частинки розміром понад 5 мкм. Центрифуга ГЦН-904 є одночасно очисником рідини і насосом.

Стенд очистки рідини має власний бак, центрифугу, електродвигун, систему пуску і гідравлічну арматуру. Стенд призначений для тонкої очистки рідин, застосовуваних для технологічних потреб (промивки гідравлічних агрегатів при їхньому виготовленні та складанні, очистки робочих рідин гідравлічних систем верстатів і автоматичних ліній при виробництві ПК, двигунів та інших виробів). Його також можна використовувати для очистки мастильних матеріалів і рідин гідросистем ПК при підготовці їх до заправки і для регенерації цих рідин на підприємствах ЦА та нафтобазах.

Магнітна очистка. Очистку рідин у магнітному полі застосовують тільки для феромагнітних матеріалів. Частинки такого походження, попавши в магнітні поля, можуть набирати силу, яка перевершує силу тяжіння на декілька порядків.

Теоретичних підстав для розрахунку процесу очистки в магнітному полі не існує, тому на практиці використовують експериментальні дані.

У промислових пристроях очистки рідин використовують постійні магніти, оскільки застосування електромагнітів істотно впливає на вартість засобів очистки, а обслуговування устаткування вимагає високої кваліфікації. Розміри і маса устаткування помітно збільшуються. Проте при проектуванні стаціонарних засобів очистки з великою кількістю феромагнітних частинок забруднень застосування електромагнітів може бути виправдано.

Магнітна очистка рідин дозволяє вилучати з очищальної рідини феромагнітні частинки розміром до 0,5 мкм, тобто забезпечувати високу тонкість очистки, збільшуючи ресурс роботи звичайних фільтрів тонкої очистки. Магнітна обробка очищальної рідини корисна ще і тим, що дуже дрібні частинки забруднень, будучи намагніченими, коагулюються й утворюють конгломерати достатньо великих розмірів (близько 20-50 мкм) і добре затримуються звичайними фільтрами.

У практиці вітчизняного і зарубіжного машинобудування всі магнітні очисники можна розділити на дві групи. До першої групи відносяться очисники, в яких утримання частинок здійснюється безпосередньо постійними магнітами, до другої – очисники, в яких ці функції виконують феромагнітні вставки, розташовані в полі постійних магнітів. Відомі також комбіновані конструкції, що складаються зі сполучення звичайного фільтра з магнітними вставками. Використання вставок (або чохла) із немагнітного матеріалу істотно полегшує обслуговування магнітних очисників. Достатньо витягти постійні магніти і на частки, що

осіли, не будуть діяти сили магнітного поля, тобто вони можуть бути вилучені простим ополіскуванням або струшуванням.

При проектуванні очисників варто враховувати, що ефективність процесу магнітної очистки залежить від ряду чинників:

потік рідини повинен проходити тонкими шарами через область з максимальною напруженістю магнітного поля;

режим плинину рідини має бути ламінарним;

чим менша в'язкість рідини, тим ефективніший процес очищення;

сила, що діє на частинку з боку магнітного поля, зворотно пропорційна квадрату відстані;

напрямок потоку рідини повинен збігатися з напрямком силових ліній магнітного поля.

Очистка рідин в електричному полі. Основою осадження частинок в електричному полі є взаємодія заряджених тіл.

Різноманітні частинки є носіями елементарних зарядів (заряд електрона $q = 1,601 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Електрично заряджене тіло в оточуючому його просторі, створює електричне поле. В електричному полі розподілена енергія, за рахунок якої електричне поле одного заряду діє на інший, що знаходиться в його межах. Сила, з якою поле діє на заряджене тіло, залежить від величини заряду тіла і напруженості електричного поля у тій області, де це тіло розташоване.

Відповідно до цього будь-яка частинка, що має заряд і переміщена в електричне поле, буде випробувати дію його сил. Під дією цих сил частинка буде переміщуватися в напрямку результуючої сили. Сила буде тим більшою, чим більший заряд частинки і напруженість електричного поля.

Можливість спрямованого переміщення частинок в електричному полі складає принципovu сутність процесу очистки діелектричних рідин від механічних домішок.

На сьогодні існує багато конструкцій електричних очисників, які відрізняються родом електричного поля, застосовуваного в них, і способом уловлювання частинок [10].

Аналіз позитивних і негативних якостей розглянутих різних схем електроочисників, аналітичне та експериментальне дослідження дозволили створити електричний очисник з високою ефективністю очистки. Цей електроочисник має гладкі осаджувальні електроди, покриті шаром електроізоляції, осаджувальна поверхня яких розташована перпендикулярно потоку очищальної рідини. Такий електроочисник забезпечує велику кількість осередків, розташованих між електродами, де відбувається накопичення осілих частинок забруднень. Прямування основного потоку очищальної рідини створює додаткові умови попадання частинок забруднень в осередки внаслідок виникаючих завихрювань потоку. Неминуче утворення «ланцюжків» у міжелектродному просторі відбувається поза основним потоком рідини і не буде сприяти виносу частинок забруднень.

Описана схема реалізована в конструкції електричного очисника діелектричних рідин у Київському міжнародному університеті цивільної авіації, на який отримано ряд авторських посвідчень і патентів зарубіжних країн [10].

Електричний очисник складається з корпусу, патрубків входу і виходу рідини і поплавкового гідравлічного клапана. Всередині корпусу знаходиться пакет електродів із

прорізями. Електроди розділені між собою діелектричними перегородками так, що утворюються поздовжні канали з чарунками-накопичувачами забруднень. До електродів підводиться різниця потенціалів від джерела високої напруги.

Електроочисник працює таким способом. Потік забрудненої рідини подається в очисник через вхідний патрубок. При наявності різниці потенціалів на електродах очисника в його проточних каналах виникає неоднорідне електричне поле, під дією якого частинки забруднень захоплюються з основного потоку рідини в міжелектродний простір. Поверхня електродів покрита шаром електроізоляції. Це виключає перезарядження осілих частинок і електричний пробій між електродами. Забруднення накопичуються в очиснику в глухих відгалуженнях його каналів, не попадаючи під основний потік рідини і не вимиваються.

Регенерацію електроочисника після накопичення забруднень у чарунках-накопичувачах і зниження ефективності очистки здійснюють без його розбирання. Для цього осаджувальні електроди розташовують в пакеті таким чином, щоб прорізи електродів займали становище, близьке до вертикального, а поздовжня вісь корпусу очисника розташовувалася під кутом 150-300 до горизонту. При цьому патрубок зливу рідини повинен знаходитися у крайньому нижньому положенні, а поплавковий клапан - у крайньому верхньому.

Регенерацію очисника виконують в такий спосіб. Прокачування рідини через очисник припиняють і перекривають крани, установлені на патрубках входу і виходу рідини з електроочисника. Потім на електроди очисника подають перемінну напругу з низькою частотою, під дією якої частинки забруднень відриваються від поверхні осаджувальних електродів і починають здійснювати коливальні рухи між ними. З внутрішньої порожнини електроочисника відкривають кран зливу рідини. Увесь бруд, накопичений в очиснику, разом з рідиною зливається.

Електроочисники мають ряд переваг над звичними фільтрами:

високому тонкості очистки при малому гідравлічному опорі;

велику брудомісткість;

можливість здійснювати повну регенерацію електроочисника (тобто відновлення робочих характеристик) без його демонтажу і розбирання;

невелику вартість та зручність експлуатації.

Випробування електроочисників підтвердили високу ефективність і тонкість очистки палива для реактивних двигунів, мастильних матеріалів і рідин для гідравлічних систем. За один прохід рідини через очисник затримується до 98% частинок, розмір яких до 5 мкм, а для частинок, розміром понад 5 мкм коефіцієнт відфільтрування дорівнює одиниці.

Відмінною рисою електроочисників є невелика витрата електричної енергії на одиницю об'єму очищеної рідини. При робочій напрузі 5000 В електричний очисник палива для реактивних двигунів, розрахований на прокачування 100 л/хв, споживає близько 100 мА (в перерахунку на 1 м³ очищеного палива), витрата електроенергії складає приблизно 1.10-4 кВт·ч.

Таке низьке енергоспоживання електричними очисниками обумовлена тим, що енергія витрачається переважно на переміщення тільки частинок забруднень. У відцентровому очиснику, наприклад, розкручується вся маса очищальної рідини.

До недоліків електричних очисників варто віднести високу робочу напругу електричного току, що обумовлює особливу технологію їхньої експлуатації і високу кваліфікацію обслуговуючого персоналу.

Обводненість палива для реактивних двигунів в умовах експлуатації. На крупних складах ПММ та в централізованих системах заправки знайшли застосування фільтр-вогновідділювачі СТ-2500, ФТВ-1500, які мають велику ефективність вогновідділення та вогноємності. Ступінь обезводжування палива фільтрами-вогновідділювачами залежить від вихідної обводненості палив. При вихідному вмісті емульсійної води в паливі до 0,005% фільтр-вогновідділювач типу СТ-500-2М затримує до 80-90%, а СТ-2500 – до 100% емульсійної води [5].

Радикальний засіб дозволяє повністю виключити негативний вплив обводненості палива на працездатність і строки служби елементів паливних систем та відмінити застосування противо-докристалізаційних присадок – глибоке осушення палива для реактивних двигунів в наземних умовах (до концентрацій менше ніж 0,002%) [7].

Список літератури

1. Керівництво по забезпеченню чистоти та очистки авіаційних палив, робочих та спеціальних рідин на підприємствах ЦА. – М: Воздушн. трансп., 1987.- 33 с.
2. Белянин П.Н. Центробежная очистка рабочих жидкостей авиационных гидросистем. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
3. Титов И.В., Рыбаков К.В. Очистка топлив от эмульсионной воды методом фильтрации//Труды семинара по очистке воздуха, масла и топлива с целью увеличения долговечности двигателя: Сб. ст. Вып. 9. – М.: ОНТИ, НАМИ, 1969.
4. Аксенов А.Ф. Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости. – М.: Транспорт, 1973. – 256 с.
5. Василенко В.Т., Черненко Ж.С. Влияние эксплуатационных факторов на топливную систему самолета. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.

Стаття надійшла до редакції 2 листопада 1999 року.