

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Засоби транспортування, зберігання та застосування
пально-мастильних матеріалів»
вибіркових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

272 Авіаційний транспорт
(Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів)

за темою № 5 – Основне обладнання зони фільтрації ПММ

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник:

Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії, викладач - методист Давітая О. В.

Рецензенти:

- 1. Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Павленко О. В.;*
- 2. Професор навчального відділу КЛК ХНУВС, к.х.н., доцент Козловська Т. Ф.*

План лекції

1. Джерела забруднень ПММ
2. Загальні вимоги про фільтрацію
3. Фільтрувальні матеріали.
4. Оцінювання забруднювання рідин. Вплив забрудненості рідини на надійність і термін служби агрегатів рідинних систем
5. Методи очистки пально–мастильних матеріалів від забруднень. Фільтри
6. Вибір фільтрів і визначення місця їхнього установлення в гідравлічній системі
7. Очистка нафтопродуктів від води
8. Конструкція фільтрів-сепараторів
9. Гравітаційна очистка рідин
10. Відцентрова очистка рідин
11. Магнітна очистка. Очистка рідин в електричному полі

Рекомендована література:

Основна

1. Григоров А. Б. Зберігання нафти та нафтопродуктів в умовах нафтобаз : Харків-Тернопіль : НТУ ХПІ : Крок, 2022. 184 с.
URL :<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/00644d5b-4e34-4e74-8f23-f66382bf4809/content> (дата звернення: 19.07.2023).
2. Технологічні операції з ПММ: навч. посіб./Н.І. Нальотова та ін. Горішні плавні: ПП Олексієнко В.В., 2019. 101с.
3. Зберігання та дистрибуція нафти, нафтопродуктів і газу : навч. посіб. / Л. Н. Ширін та ін. Дніпро, 2019. 306 с. URL : https://tst.nmu.org.ua/ua/185/%D0%90%D0%93%D0%9D%D0%9A%D0%A1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%B7%D0%B1%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20_12.12.2019_.pdf (дата звернення: 19.06.2023).

Додаткова

4. Зберігання та дистрибуція нафти, нафтопродуктів і газу : навч. посіб. / Л. Н. Ширін та ін. Дніпро, 2019. 306 с. URL : https://tst.nmu.org.ua/ua/185/%D0%90%D0%93%D0%9D%D0%9A%D0%A1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%B7%D0%B1%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20_12.12.2019_.pdf (дата звернення: 19.06.2023).

Текст лекції

1. Джерела забруднень ПММ

Цивільна авіація – значний споживач ПММ на нафтовій основі. Довговічність роботи агрегатів і надійність роботи систем багато в чому залежать від наявності забруднень рідин. Безвідмовність роботи тієї або іншої системи (паливної, масляної й гідравлічної) істотно впливає на безпеку польотів.

Проблема очищення палива, мастильних матеріалів і робочих рідин гідравлічних систем пов'язана із забезпеченням надійності і довговічності гідравлічної апаратури. Особливо вона актуальна для космічної, ракетної та авіаційної техніки.

Для одержання чистих авіаційних ПММ застосовують найрізноманітніші фільтрувальні матеріали, фільтри і фільтрувальні системи. Ці рідини піддають очищенню як на землі, при підготовці їх до заправки, так і на борту ПС в процесі роботи тієї або іншої системи.

При експлуатації, зберіганні і перевезеннях нафтопродуктів їхнє забруднення йде неупинно. Основним джерелом забруднення є пил, що надходить у рідину через систему дренажу при малому і великому подиху резервуарів через заливні горловини при відкритій заправці баків. Резервуари для зберігання нафтопродуктів зазвичай заповнюють не повністю. Повітряна порожнина резервуара пов'язана з атмосферою або через дренажний трубопровід, або через дихальний клапан. Знаходячись під дією навколишнього середовища, температура рідини і газо–повітряної порожнини резервуара неупинно змінюється. Виміри показали, що протягом доби температура повітря в газоповітряній порожнині резервуара може відрізнитися від температури зовнішнього повітря на 30–40 °С. Закон Гей–Люссака описує залежність об'єму повітря від його температури (при постійному тиску). Відповідно до цього закону зміна температури на один градус змінює обсяг повітря при постійному тиску на $1/273$ частини того обсягу, що він мав при температурі 0 °С.

Закон Шарля встановлює залежність тиску повітря від його температури при постійному об'ємі, при якому тиск повітря зі зміною температури на 1 °С і зберіганні постійного об'єму змінюється на $1/273$ частину тиску.

Відповідно до цих законів при зміні температури повітря, що знаходиться усередині резервуара, відбувається малий подих резервуара. При зміні температури в резервуарі змінюється й об'єм рідкої фази. Тому протягом доби резервуар робить "вдихи" і "видихи", тобто атмосферне повітря надходить у резервуар, коли температура в ньому нижче температури зовнішнього повітря, і навпаки – частина повітря з резервуара виходить в атмосферу при підвищенні тиску всередині резервуара. Великі "подихи" відбуваються при спорожненні і наповненні резервуара.

При "подиху" резервуара і великій забрудненості повітря маса пилу, що надходить у значні резервуари, може досягати десятків кілограмів. Пил в

атмосфері являє собою типову дисперсну систему з розміром частинок до 100 мкм.

При нагріванні в паливі, а також мастилі протікають хімічні процеси окислювання і розкладення. Вони наводять до утворення твердих і мазеподібних відкладень, підвищення в'язкості рідини, зміни фракційного складу, підсилення корозійної активності.

На утворення осадків впливає й концентрація кисню як у газовому середовищі над паливом і мастилом, так і розчиненого в рідині. При вилученні кисню робота в інертному газовому середовищі, наприклад, азоті, осадкоутворення практично не спостерігається.

При тривалому зберіганні в умовах позитивних температур у нафтопродуктах можуть розвиватися колонії мікроорганізмів, водоростів і грибків. В основному їх спостерігають на межі паливо–вода, масло–вода, у відстійній зоні. Забруднення біологічного характеру являють собою желеподібну масу, що може міцно утримуватися на поверхні трубопроводів, фільтрів, агрегатів. Одноклітинні організми при сприятливих умовах розмножуються. Розмір окремих бактерій, грибків, спор зазвичай становить 1–2 мкм, проте їхня довжина може досягати 10 мкм. Замічені випадки збільшення розміру частинок забруднень у герметично замкнених посудинах. Подібне явище пояснюється таким чином. Рідини на нафтовій основі є гарними діелектриками, тому заряди на дрібних частинках можуть зберігатися досить довго. При зіткненні частинки з протилежними зарядами злипаються і створюють частинки великого розміру. Зростання частинок не спостерігається в рідині, що містить антикорозійний інгібітор. Він являє собою диспергант, який утримує дрібні частинки на відстані один від одного і, можливо, дозволяє їм звільнятися від своїх статичних зарядів. Активне збільшення дрібнодисперсних частинок спостерігається в пальному, яке містить емульсійну воду.

Джерелом забруднення пального і мастил у деяких випадках можуть бути самі фільтри, призначені для очистки рідини. В процесі роботи фільтроелементи частково руйнуються, а їхні компоненти вимиваються потоком рідини. Такого типу забруднення спостерігаються в усіх фільтрах із волокнистими наповнювачами, виготовленими з паперу, вовни, поветь, целюлози, скловолкна тощо. У волокнистих наповнювачах, що можуть змінювати шпаристість при збільшенні перепаду тиску, гідроударах і пульсаціях тиску, частинки забруднень, утримані фільтром, повільно проходять через фільтроелемент і знову влучають у робочу рідину.

Таким чином, основним джерелом у мастилі і пальному є волога, пил, що надходять із повітря, тому важливо створити надійну ізоляцію нафтопродуктів від контакту з атмосферою, забезпечувати герметичність ємностей, використовуваних під час перевезення і схові ПММ, щоб виключити попадання дощової і ґрунтової води. Особливо уважно потрібно ставитися до герметизації місткостей під час перевезення танкерами і нафтоналивними баржами. Морська вода, що влучає в нафтопродукти, особливо небезпечна. Вона зумовлює інтенсивну корозію місткостей і агрегатів устаткування.

Для поменшення надходження повітря при малому "подиху" резервуарів необхідно їх заповнювати якомога повніше. Добре зарекомендувало себе зберігання пального під підвищеним тиском. Навіть у дуже жаркий день при правильному регулюванні дихального клапана (перепад тиску між атмосферним тиском і тиском усередині резервуара 0,05 МПа) у повністю заповненого резервуара "подих" відсутній. Резервуари для зберігання пального й мастила доцільно виконувати з плаваючими понтонами і плаваючими дахами, в яких контакт пального, що зберігається в резервуарі, із повітрям практично відсутній.

2. Загальні вимоги про фільтрацію

Фільтрація є ефективним і доступним засобом відновлення якості нафтопродуктів. З її допомогою можна ефективно видалити тверді забруднення. Процеси фільтрації нафтопродуктів широко застосовують на нафтобазах, складах, АЗС, господарствах та ін. Незважаючи на розробку спеціальних фільтрів, видалення емульсійної води методами фільтрації не можна вважати вирішеною проблемою. Ступінь очищення нафтопродуктів від забруднень визначається технологічною схемою фільтрації і, особливо, типом застосовуваних фільтрів.

При фільтрації тверді частки забруднень затримуються на поверхні фільтруючої перегородки й проникають у її пори. Це явище характерно для нафтопродуктів, які представляють собою малоконцентровані суспензії. Можливі наступні види фільтрації (рис. 1): з повним закупорюванням пор, з поступовим закупорюванням кожної пори багатьма твердими частками, з утворенням осаду та проміжний.

Фільтрація з повним закупорюванням пор на практиці зустрічається рідко.

Швидкість фільтрації нафтопродукту в початковий момент максимальна (ω_0). Якщо в одиниці об'єму нафтопродукту знаходиться N зважених часток, то після отримання фільтрату в кількості G число закупорених отворів буде $N \cdot G$. Отже, швидкість фільтрації нафтопродукту зменшується.

$$\omega = \omega_0 - K_1 G$$

де K_1 – постійна величина, яка характеризує інтенсивність зменшення швидкості фільтрації зі збільшенням кількості фільтрату

Загальний опір фільтрації Ω в даному випадку характеризується величиною, оберненою швидкості. Таким чином, при фільтрації з повним закупорюванням пор інтенсивність збільшення опору фільтра дуже велика.

В процесах фільтрації нафтопродуктів з поступовим закупорюванням пор, їх радіус постійно зменшується. Тому, при фільтрації нафтопродуктів з поступовим закупорюванням пор загальний опір фільтра менш інтенсивний, ніж в процесах фільтрації з повним закупорюванням пор.

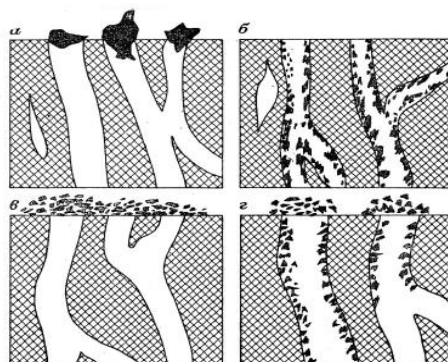


Рис. 1–Види фільтрації:

а – з повним закупорюванням пор; б - з поступовим закупорюванням кожної пори багатьма твердими частками; в - з утворенням осаду; г – проміжний.

В процесах фільтрації нафтопродуктів з утворенням осаду швидкість фільтрації залежить від опору шару осаду та фільтруючої перегородки. Дослідженнями встановлено, що при фільтрації нафтопродуктів з утворенням осаду підвищення загального опору при збільшенні кількості фільтрату залишається постійним.

Ріст інтенсивності загального опору із збільшенням кількості фільтрату зменшується при переході від фільтрації нафтопродуктів з повним закупорюванням пор до фільтрації з утворенням осаду. Найбільш вигідний з практичної точки зору процес фільтрації нафтопродуктів з утворенням осаду, найменш вигідний – з повним закупорюванням пор.

Проміжний вид фільтрації може наближатися до фільтрації із частковим закупорюванням пор або утворенням осаду. У відповідності до цього показник ступеня Ω буде наближатися до 1,5 або 0. В практиці зустрічається проміжний випадок між фільтрацією з повною та поступовою закупоркою пор фільтрів.

Фільтрація з повним закупорюванням пор та утворенням осаду є граничними випадками, що не зустрічаються на практиці.

3. Фільтрувальні матеріали

Фільтрувальні матеріали (перегородки) є самою істотною частиною фільтрів. Від правильного вибору фільтрувальних матеріалів залежить продуктивність фільтрування і якість одержуваного фільтрату. Для надійного очищення нафтопродукти повинні фільтруватися через перегородки: фільтруючу, на якій затримуються тверді частки; коагулюючу, на якій краплі коалесціюють; водовідштовхувальну для відділення вільної води від палив і масел.

Фільтрувальні матеріали повинні задовольняти наступним вимогам:

— надійно затримувати можливо більшу кількість твердих часток і диспергированої води;

— мати невеликий гідравлічний опір при максимальній питомій пропускній здатності;

— легко і багаторазово регенеруватися від забруднень;

- не змінювати фізико-хімічних, механічних властивостей і геометричних розмірів при контакті з продуктами, які очищують, та при впливі ударних, теплових і вібраційних навантажень;
- мати високий ресурс роботи;
- не електризувати продукт, який очищається;
- після використання легко утилізуватися без забруднення зовнішнього середовища;
- мати добрі технологічні і конструктивні властивості: легко гофруватися, склеюватися та ін ;
- бути дешевими, з доступною сировинною базою.

Фільтруючі властивості перегородок оцінюються якісними і кількісними параметрами. До перших відносять максимальний або середній розмір пор фільтрувального матеріалу і максимальний розмір часток, що пройшли через фільтруючу перегородку; до других – коефіцієнт відфільтрування, коефіцієнт пропускання, номінальну тонкість фільтрації, тонкість відсіву, повноту відсіву, порову структуру матеріалу. Якісні критерії не дають досить повної оцінки фільтрувальних матеріалів, тому що вони не відображають ефективності відділення часток забруднень розміром менше розмірів пор. Зневага дрібними частками забруднень неприпустима через процеси коагуляції. Кількісні критерії оцінки також неоднаково відображають якість фільтрувальних матеріалів.

Повнота відсіву забруднень, що характеризується масовим або об'ємним коефіцієнтом відсіву, не має явно вираженої функціональної залежності між загальним змістом і розподілом часток по розмірах. Цей критерій не несе інформації про дисперсний склад забруднень. Спроби зв'язати оцінку фільтруючих властивостей фільтрів з розподілом пор по розмірах поки не увінчалися успіхом.

Два фільтри з однаковою номінальною тонкістю фільтрації можуть мати різний склад кінцевих фракцій, зміст яких становить від 1 до 10 % до їхнього числа у суспензії, яку фільтрують. Серед неприйнятих до уваги часток можуть бути такі, розмір яких неприпустимий за умовами експлуатації прецизійних пар. І з цим необхідно рахуватись, оскільки в наш час відсутні які-небудь рекомендації та не досліджувалися припустимі норми забруднень у паливі понад номінальну тонкість фільтрації. Таким чином, характеристики фільтра тільки по номінальній тонкості фільтрації так само недостатньо, як і по величині найбільшої частки, що пройшла через фільтр. Більш правильною представляється оцінка фільтрів по двох критеріях: номінальній тонкості фільтрації та величині найбільшої частки.

Розрахунками встановлено, що для часток розміром від 1 до 10 мкм достовірні значення коефіцієнта не перевищують 0,97.

Це значення може бути рекомендовано в якості критерію для визначення номінальної тонкості фільтрації палив сучасними фільтрувальними матеріалами.

В наш час відома велика кількість фільтрувальних матеріалів, які можна класифікувати за різними ознаками (рис 2).

На поверхневих фільтрувальних перегородках (папір, повсть, тканини, металеві сітки та ін.) тверді частки затримуються на поверхні, практично не проникаючи в пори фільтруючого елемента. У глибинних фільтрувальних перегородках тверді частки затримуються в глибині фільтруючого елемента. Це явище спостерігається, коли частки домішок значно менше отворів фільтрувальних матеріалів, а концентрація забруднень не настільки висока, щоб утворити зводи над входами в пори. В практиці доводиться фільтрувати різні продукти з різним ступенем забруднення. Вимоги до якості фільтрату теж не завжди однакові. Тому для виправлення якості нафтопродуктів застосовують різноманітні матеріали з різною фільтруючою здатністю.



Рис 2 – Класифікація фільтрувальних матеріалів

Гнучкі фільтрувальні перегородки можуть бути виготовлені з різних матеріалів. Негнучкі перегородки можуть бути жорсткими і нежорсткими. Негнучкі жорсткі перегородки виготовляють у вигляді досить товстих дисків, плиток, циліндрів із часток твердих матеріалів спіканням, а іноді пресуванням. Негнучкі нежорсткі перегородки складаються з твердих часток, які жорстко не зв'язані між собою. Ці матеріали являють собою шари часток кам'яного, деревного, тваринного вугілля, коксу, глини, піску, деяких неорганічних солей, діатоміту. Їхнє застосування можливо, якщо є горизонтальна опорна перегородка.

Перевагою цих фільтрувальних перегородок є можливість підтримки їх у чистому стані шляхом промивання, у результаті якого змінюється взаємне розташування твердих часток фільтруючого елемента.

Для відновлення якості нафтопродуктів найбільш широко застосовують металеві сітки, ткані і неткані натуральні та синтетичні матеріали,

металокераміку і інші фільтрувальні перегородки. Застосування нетканих матеріалів і пористого фторопласта дозволяє підвищити тонкість фільтрації, зменшити масу фільтрувальних пакетів і їхню вартість у випадку застосування нетканих матеріалів. Однак пористий фторопласт досить дорогий, механічна міцність елементів ФЕП і нетканих матеріалів відносно невисока.

Фільтрувальні перегородки з металу можуть бути виготовлені у вигляді перфорованих аркушів, сіток і тканин. Сітки квадратного плетива виготовляють із латуні, фосфористої бронзи; сітки саржевого плетива – з маловуглецевої і нержавіючої сталей, міді, латуні, фосфористої бронзи, нікелю і монель-металу.

Найбільше часто застосовувані сітки квадратного плетива мають розміри отворів 40...100 мкм. Розмір отворів сіток квадратного плетива 40 мкм є мінімальним, у той час як сітки саржевого плетива часто застосовуються з розмірами отворів 20 мкм і менш. Наприклад, широко застосовують для фільтрування палив сітки саржевого плетива зі сталі Х18Н9Т з розмірами отворів 20 мкм, а також нікелеві сітки з розмірами отворів 12...16 мкм.

Металокерамічні фільтри виготовляють із металевих порошків пресуванням, прокаткою та спіканням. В якості металевих порошків зазвичай використовують бронзу, нержавіючі і маловуглецеві сталі, які можуть бути хромовані для підвищення корозійної стійкості. Фізичні властивості, хімічний склад, структура, пористість і міцність металокерамічних фільтрів можуть бути досить різноманітними. Розмір отворів у таких перегородках може бути 1...75 мкм, а пористість досягати 50 %.

Металокерамічні перегородки доцільно застосовувати в процесах фільтрації із закупорюванням пор та утворенням осаду. Установлено, що для металокерамічних фільтрів, виготовлених з металевих часток розміром 63 мкм, збільшення товщини перегородки з 1 до 3 мм на тонкість фільтрації істотного впливу не робить, однак гідравлічні характеристики фільтруючих елементів при цьому погіршуються.

Фільтри з порошків металів доцільно виготовляти двошаровими: верхній шар з більш крупних часток, а нижній – з більш дрібних. Тонкість фільтрації в цьому випадку практично дорівнює тонкості фільтрації через фільтр, виготовлений із дрібних часток тієї ж товщини.

Для видалення забруднень із палив крім металевих фільтрів досить часто застосовують синтетичні і натуральні тканини. В порівнянні з іншими тканинами бавовняні використовують найбільш широко. Для фільтрування застосовують бязь, міткаль, діагональ, бельтинг.

Крім вовняних і бавовняних у якості фільтрувальних перегородок використовують шовкові тканини. Шовкові фільтрувальні тканини мають високу міцність, добре затримують тверді частки та мають достатню проникність по відношенню до рідкої фази. Однак шовкові тканини досить дорогі. Крім того, вони не затримують дрібні частки забруднень, оскільки поверхня тканин доволі гладка. Шовкової тканини в наш час замінюються синтетичними матеріалами. Тканини із синтетичних матеріалів по багатьом

характеристикам перевершують тканини із природних волокон. Більшою перевагою синтетичних тканин є їх висока механічна міцність, термічна, хімічна і біологічна стійкість. У цих тканин немає усадки при контакті з рідинами. В якості синтетичних фільтрувальних перегородок використовуються поліхлорвінілові, полівінілхлоридні, віньонові, совіденові, нітронові, поліамідні, лавсанові, поліпропіленові, фторлонові та інші тканини. Майже всі синтетичні тканини стійкі до дії кислот і лугів. Однак при підвищених температурах працюють далеко не всі тканини. Високу температуру (вище 100 °С) витримують нітронові, поліамідні, лавсанові, фторлонові тканини. Полівінілхлоридні, перхлорвінілові, совіденові тканини мають невисоку теплостійкість (не вище 60...75 °С). Поліпропіленові тканини розчиняються в уайт-спириті, діхлоретані та деяких інших полярних розчинниках.

У всіх тканинних фільтрах забруднення палив затримуються в основному в отворах, утворених нитками. В переплетеннях волокон ниток затримується лише 5...15 % забруднень.

Фильтродіагональ і фильтросванбой – найпоширеніші бавовняні тканини для фільтрування – мають тонкість фільтрації 30...40 мкм в одному шарі і 10...20 мкм у трьох шарах.

В якості фільтрувальних перегородок для очищення нафтопродуктів широко використовують також неткані матеріали, які виготовляють у вигляді стрічок, аркушів із синтетичних, вовняних (фетр, повсть), лляних, бавовняних волокон, паперової маси, виготовляють нанесенням металу на неткані матеріали.

Для очищення палив застосовують також кераміку, елементи щільного типу, каркасно-дротові і інші фільтрувальні матеріали.

За допомогою фільтрувальних перегородок з нафтопродуктів можна видалити не тільки механічні домішки, але й воду.

Найпоширеніші для очищення нафтових палив від води волокнисті суміші з гідрофобних і гідрофільних волокон, гідрофобних тканин, паперу. Неткані матеріали з однорідних волокон характеризуються невисокими коагуляційними властивостями. Лавсанові і поліпропіленові волокна мають набагато кращі водовідокремлюючі властивості. Ефективність відокремлення води залежить від товщини фільтрувальної перегородки. Для кожного матеріалу існує оптимальна товщина, перевищення якої призводить до повторного диспергування.

Більша частина водозатримуючих тканин ефективно відокремлюють воду лише при невеликих швидкостях фільтрування – не більше 0,00267 м³/(с·м²). Водовідштовхувальні тканини ефективніше водовбірних. Швидкість відділення води з нафтопродуктів залежить від їхнього загального забруднення, хімічного складу, температури, режиму фільтрування, фізико-хімічних властивостей фільтрувального водовідокремлюючого матеріалу.

Незважаючи на розмаїття фільтрувальних матеріалів, які застосовуються для виготовлення фільтроелементів, вони все ж не можуть повністю вирішити

задачу тонкої очистки рідин. Це пояснюється такими основними недоліками, що органічно властиві фільтроматеріалам:

- труднощі одержання множини стабільних за розмірами капілярних каналів малого діаметра; наприклад, у фільтрах тонкої очистки розмір порових каналів повинен дорівнювати 2 – 5 мкм;
- невелика гряземісткість і малий ресурс (особливо для фільтроматеріалів, що забезпечують високу тонкість очистки);
- мала пропускна здатність і великий гідравлічний опір;
- недостатня міцність і пластичність;
- погане відновлення властивостей багатьох пористих середовищ при промиванні;
- міграція забруднень і частинок фільтроматеріалів до очищуваної рідини;
- висока вартість фільтрів, яка забезпечують тонку фільтрацію при великій витраті рідини через фільтр.

4. Оцінювання забруднювання рідин. Вплив забрудненості рідини на надійність і термін служби агрегатів рідинних систем

Ступінь забруднювання рідини оцінюється ваговим і об'ємним вмістом частинок забруднень, а також гранулометричною характеристикою. Вагова характеристика являє собою відношення маси забруднень ($M_{\text{мд}}$) до маси проби рідини ($M_{\text{р}}$), із якої вони вилучені. Вона виражається в процентах:

$$C_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мд}}}{M_{\text{р}}} 100 \, \%.$$

Об'ємна концентрація ($C_{\text{в}}$) являє відношення обсягу механічних домішок ($V_{\text{мд}}$) до об'єму рідини ($V_{\text{р}}$), з якої вони вилучені, і виражається в процентах:

$$C_{\text{в}} = \frac{V_{\text{мд}}}{V_{\text{р}}} 100 \, \%.$$

На практиці досить часто концентрація забруднень оцінюється масою забруднень, що містяться в одиниці маси або обсязі рідини, тобто в міліграмах/літр або грамах/тону.

Найбільше повно зображує характеристику забрудненості рідини гранулометрична характеристика, яка несе інформацію про штучну концентрацію частинок забруднень різноманітного розміру у взятій пробі рідини. Гранулометрична характеристика може бути подана у вигляді таблиці або графіка.

У рідині будь-якої гідравлічної системи, незважаючи на наявність фільтрів і захисту систем від попадання забруднень, знаходяться мільйони механічних частинок різноманітних розмірів і твердості. Рухаючись разом із потоком, вони сприяють підвищеному зносу гідроапаратури, втраті герметичності, порушенню регулювання, збільшенню сил тертя, а в ряді випадків і заклинюванню рухомих деталей. Частинки провокують кавітаційні явища в системі, засмічують калібровані отвори і фільтри, сприяють накопиченню статичної електрики, підвищують окиснюваність мастила і його

нагароутворення. Використання забруднених рідин призводить не тільки до різкого скорочення термінів служби гідроапаратури (в окремих випадках у десятки разів), але й до швидкої втрати ними властивостей, необхідних для роботи в гідравлічних системах, і в такий спосіб до їхньої частоті заміни.

Узагальнені дані показують, що приблизно 30 % командно–паливних агрегатів, 33 % всіх аварій і катастроф, 50 % відмов реактивних двигунів є прямим або посереднім витоком забрудненості мастил і палив. За зарубіжними даними із 100 аварійних ситуацій у гідросистемах 90 відбуваються внаслідок забрудненості рідини, а термін служби насосів при неякісній фільтрації зменшується в 6–7, а в окремих випадках навіть у 12 разів.

Поліпшення тонкості очищення мастил із 25 до 3 мкм зумовлює збільшення довговічності гідравлічних елементів у вісім разів. Передчасний знос паливної апаратури є серйозним ускладненням при експлуатації ПС. Невідповідність терміну служби двигуна й агрегатів паливної апаратури призводить до частих поставок двигунів у ремонт для заміни агрегатів. При роботі на пальному, що не містить забруднень, вдасться зрівняти термін служби агрегатів паливної апаратури і двигуна.

Зусилля, потрібні для переміщення плунжерів золотникових розподільників рідини, при наявності забруднень зростають у сотні разів, що призводять до порушення нормальної роботи системи і виходу з ладу окремих її агрегатів. Це особливо відчувається в системах із дистанційним керуванням розподільними і регулюючими пристроями за допомогою електромагнітів і електро-механізмів малої потужності.

Норми припустимої забрудненості рідини

Поняття "чиста" рідина має умовний характер. Можна вважати рідину "чистою", якщо розмір і кількість частинок забруднень не впливають на працездатність системи. Для більшості систем чистота рідини буде достатньою, якщо максимальний розмір частинок забруднень не перевищує радіального зазору в зчленуваннях плунжерних пар гідроагрегатів.

Чистота рідини регламентується державними стандартами і галузевими нормами. У цивільній авіації вимоги до чистоти авіаційного пального особливо високі. Пальне вважається чистим, якщо вміст механічних частинок у ньому не перевищує по масі 0,0002 %, тобто 2 г на 1 т, а вміст води не перевищує по масі 0,003 %, тобто 30 г на 1 т, і в ньому цілком відсутня вода у відстійній зоні. На XIII Міжнародної конференції з транспортної авіації для підвищення надійності систем паливної автоматики була рекомендована межа припустимої забрудненості пального для реактивних літаків не більш 1,2 г/т, а розмір частинок забруднень – не більш 2 мкм. При фільтрації пального і рідин гідросистем, які працюють з високим тиском, надійність систем паливної автоматики буде забезпечена, якщо фільтри зменшують кількість частинок розміром 1–2 мкм і цілком утримують частинки розміром, який перевищує 5 мкм.

Для мастильних матеріалів і рідин гідравлічних систем межа припустимої забрудненості декілька вище. Мастило вважається "чистим", якщо утримання забрудненості по масі не перевищує 0,005 %, тобто 50 мг/л (ГОСТ 6370–59).

Масова концентрація забрудненості рідин лише посередньо може характеризувати небезпеку забруднень. При одній і тій самій масовій концентрації в пальному може бути мала кількість частинок малих розмірів. Водночас на надійність роботи гідроагрегатів, як показали дослідження, впливають лише частинки визначених розмірів. В основі ГОСТ 17216–71 для визначення чистоти робочої рідини закладений інший принцип. Стандарт установлює 19 класів чистоти рідини. Кожному класу відповідає визначена кількість частинок різноманітного розміру, що містяться в 100 см³ рідини. Кожній системі залежно від її призначення і важливості виконуваних функцій, а також чутливість агрегатів до забруднень повинний бути визначений свій клас чистоти рідини. Класи чистоти повинні бути зазначені в технічних вимогах до рідин при їхній поставці, транспортуванні і зберіганні, у вимогах до умов.

5. Методи очистки пально–мастильних матеріалів від забруднень. Фільтри

Існують методи вилучення забруднень із рідин. Всі вони умовно розділені на три види.

1. *Фільтрація* – метод очистки рідини від твердих, а в ряді випадків і рідких забруднень при пропусканні її через пористу перегородку.

2. *Використання силових полів* – метод, заснований на ефекті взаємодії частинок забруднень будь–якої природи із силовим полем. Застосовують силові поля різноманітної природи: гравітаційне, відцентрове, магнітне, електростатичне, електромагнітне, а також поле сил, що генерується ультразвуковими коливаннями.

3. *Фізико–хімічна очистка* – метод заснований на відмінності фізико–хімічних властивостей очищуваних рідин і частинок забруднень. До цього методу можна віднести очистку й обезводжування робочих рідин сілікагелями або цеолітами, масообмінне осушення, виморожування вільної й емульсійної води і тощо. Забруднення вилучають за допомогою фільтрів і очисників, установлюваних безпосередньо в гідросистемі машин і механізмів, а також за допомогою автономних систем (стендів) очистки рідини (СОР). Найбільш повно задача очистки в технологічних стендах вирішується за допомогою спеціалізованих СОР, які застосовують як для очистки робочих рідин перед заправкою в системи, так і для профілактичної (регенераційної) очистки рідини, що відпрацювала визначений ресурс.

Сучасні і перспективні системи очистки рідин повинні відповідати строгим технічним, екологічним і економічним вимогам:

–забезпечувати високу тонкість очистки незалежно від природи, концентрації та розмірів забруднень;

–мати постійну пропускну здатність і забезпечувати ефективність роботи незалежно від часу напруження й обсягу очищуваної рідини;

- мати велику гряземісткість;
- забезпечити високу надійність роботи;
- володіти об'єктивними засобами контролю за станом роботи системи і контролю чистоти рідини;
- мати мінімальний гідравлічний опір;
- забезпечувати автоматизований процес очистки, контролю стану і регенерації;
- задовольняти вимоги технологічності;
- мати малу масу і габарити, невисоку вартість установа і низьку собівартість очистки.

Методи і засоби очистки не повинні чинити негативний вплив на очищувану рідину і, навпаки, рідина не має чинити руйнуючу дію на елементи системи очистки

Фільтри

Конструкцію фільтра, як правило, складається з корпусу із патрубками підведення і відведення рідини, фільтруючого елементу та, іноді пристрій для контролю рівня забрудненості фільтроелемента. Рідину, яка очищується, під дією перепаду тиску прокачують через фільтруючий елемент. Очищена рідина проходить через наскрізні пори фільтрувальної перегородки, на якій затримуються забруднення у вигляді осаду. Чим менше розмір пор, тим дрібніші частинки забруднень затримані фільтром. У більшості фільтрів фільтруючий елемент, може бути видобутим із корпусу при засміченні його пор. Фільтрувальні перегородки майже завжди розміщують на різноманітних опорних поверхнях, тому рідина при роботі фільтра повинна рухатися в строго визначеному напрямку, для чого на корпусі фільтра обов'язково наносять стрілку, що вказує напрямок потоку очищуваної рідини.

За способом затримки частинок забруднень фільтроматеріали можуть бути поверхневі, об'ємні і комбіновані. Останні поєднують ознаки двох перших видів. Типовим прикладом поверхневого матеріалу є плетена металева сітка. Частинки забруднень, розмір яких більше розміру отворів сітки, при прокачуванні рідини затримуються на поверхні сітки.

Об'ємні фільтроелементи виконують із проникного матеріалу значної товщини. Для цього використовують папір, картон, целюлозу, скловолокно, поветь, замшу, сукно, мінеральну вату, пористу кераміку і металокераміку. Рідина очищається, проходячи по вузьких, довгих і звивистих каналах. Особливо добре затримуються в таких фільтроелементах волосоподібні частинки. Об'ємні фільтроелементи утримують частинки найрізноманітніших розмірів, тому що розміри і прохідні перерізи порових каналів менш однорідні, ніж у поверхневих фільтроелементів. Порівняно з поверхневими об'ємні фільтроматеріали мають більш високий гідравлічний опір, забезпечують якісну фільтрацію і володіють великою гряземісткістю, але після накопичення забруднень не можуть бути відновлені.

У комбінованих фільтроелементах спочатку в ході руху рідини встановлюють об'ємний фільтрувальний матеріал, який забезпечує високу

гяземісткість, а потім поверхневий, що служить для обмеження максимального розміру частинок, які пропускаються.

Основними характеристиками фільтрів і фільтрувальних матеріалів є такі показники, як тонкість фільтрації, пропускна здатність, гідравлічний опір і термін служби.

Тонкість фільтрації визначається мінімальним розміром частинок забруднювача, утримуваних фільтроелементом. Цей розмір залежить від розміру пор фільтруючого матеріалу. Оскільки визначити розмір порових каналів більшості фільтруючих елементів неможливо через неоднорідність порових каналів, тонкість фільтрації визначають мікроскопічним аналізом проб рідини, взятих перед фільтром і за ним.

Тонкість фільтрації різних фільтрувальних матеріалів визначається коефіцієнтом відфільтровування:

$$\varphi = \frac{n_1 - n_2}{n_2}$$

де n_1 і n_2 – кількість частинок забруднень цього розміру, які містяться в пробі рідини, взятій відповідно перед фільтром і за фільтром.

Значення коефіцієнта відфільтровування φ змінюється від 0 до 1. Чим вище значення коефіцієнта відфільтровування, тим більше частинок забруднення цього розміру затримує фільтр. Наприклад, якщо для частинок розміром 15 мкм значення $\varphi = 1$, то це означає, що фільтруючий матеріал затримує всі 100 % частинок зазначеного розміру. Залежність коефіцієнта φ від діаметра частинок називається кривою відфільтровування. Для кожного фільтрувального матеріалу вона визначається експериментально.

Для оцінки розмірів частинок забруднень, утримуваних фільтром, використовують поняття номінальної і абсолютної тонкості фільтрації.

Абсолютна тонкість фільтрації визначається максимальним розміром частинок забруднень, виявленого в пробі рідини, взятої за фільтром.

Номінальна тонкість фільтрації характеризується розміром частинок забруднень, виявлених в пробі рідини, взятої за фільтром, для якого коефіцієнт відфільтровування дорівнює $\varphi = 0,97$ (ГОСТ 1.00523–72). Номінальна тонкість фільтрації вказують у паспорті фільтра.

З визначення номінальної тонкості фільтрації випливає, що фільтр із номінальною тонкістю фільтрації 5, 10, 20 мкм може пропускати в систему до 3 % частинок, розмір яких більше зазначеної величини.

Оцінку тонкості фільтрації здійснюють експериментально лише на нових непрацюючих фільтроелементах при визначеній температурі рідини і заданому перепаді тиску. Поступова закупорка пор фільтроматеріала наводить до поліпшення показника тонкості фільтрації.

Залежність витрати рідини, яка проходить через одиницю поверхні фільтрувального матеріалу від перепаду тиску при постійній в'язкості, називають гідравлічною характеристикою фільтроматеріала. Зазвичай гідравлічна характеристика будується за результатами експериментів.

Зі збільшенням прокачування через фільтрувальний матеріал збільшується перепад тиску. Це може призвести до руйнації фільтрувального матеріалу і до

збільшення розміру частинок, які мігрують через пористий матеріал. Тому кожний фільтр розраховують на роботу з визначеним прокачуванням рідини. Зазвичай фільтруванню піддають рідини, в яких містяться полідисперсні частинки забруднень, мікрокраплі води, мікропузирчики газів і різноманітні мікроорганізми.

Пальне в умовах аеропортів, як правило, перекачують відцентровими насосами, які мають досить похилу характеристику, тому з визначеним ступенем вірогідності можна вважати, що режим фільтрації здійснюється при постійному перепаді тиску.

Для цього режиму фільтрації забивання пор фільтрувального матеріалу може здійснюватися за одним з наступних законів:

- 1) із повним закупорюванням пор;
- 2) із поступовим закупорюванням пор;
- 3) за проміжним видом;
- 4) з утворенням осаду.

При малих концентраціях забруднень забивання пор може починатися з поступового, проміжного або повного закупорювання пор і після тривалої фільтрації переходити до забивання з утворенням осаду. При великих концентраціях забруднень забивання пор починається аналогічно, але цей процес дуже швидко переходить до забивання з утворенням осаду, тому в ряді випадків початкових видів закупорювання пор можна не помітити. Тоді вважають, що забивання пор відбувається з утворенням осаду.

Для запобігання передчасній заміні фільтроелемента при неповному використанні його "гряземісткості" на фільтрах рекомендується встановлювати манометри або сигналізатори забрудненості, що подають інформацію про досягнення визначеного перепаду тиску.

Сигналізатор забрудненості фільтра може бути виконаний у вигляді індикаторного стрижня або стрілки, висування або відхилення яких свідчать про перепад тиску на фільтрі. Іноді індикатор роблять електричним.

Матеріал фільтроелемента може бути одноразового та багаторазового застосування. До останнього відносяться дротові, сітчасті, пластинчасті, металокерамічні фільтри. Фільтроелементи, виготовлені з паперу, повстени, бавовни, придатні лише для разового застосування. Фільтроелемент, виготовлений із паперу, стає згодом великим і може тріснути вздовж рифлення. З огляду на це, на паперові фільтруючі елементи встановлюють визначений термін зберігання і роботи, після чого його рекомендовано викидати незалежно від досягнутого перепаду тиску.

Для регенерації глибинних фільтрів застосовують продування фільтроелементів стиснутим повітрям, промивку очищувальною робочою рідиною або спеціальною миючою рідиною. Напрямок потоку при цьому встановлюють оберненим до напрямку руху рідини.

Для підвищення ефективності очистки з успіхом застосовують високочастотну механічну вібрацію фільтра разом із потоком рідини, а також промивку в ультразвуковій ванні. Експерименти показали, що ультразвукова

очистка відновлює пропускну здатність металокерамічних фільтроелементів до 90 % від номінальної. Для вимивання забруднень, які накопичилися в глибині фільтроелемента, використовують сили, що виникають у момент схлопування кавітаційних пузирчиків при впливі на миючу рідину ультразвукового коливання. При цьому в кавітаційних пузирчиках відбувається місцеве різке підвищення тиску (до декількох десятків мегапаскалів) і температури (до 300-400 °C).

Фільтроматеріали повинні забезпечувати необхідну тонкість фільтрації рідини при високому значенні коефіцієнта відфільтровування, мати високу вібро- і механічну міцність, велику гряземісткість, здатність до багатократної регенерації, не впливати негативно на фізико-хімічні властивості очищуваних рідин і не адсорбувати присадки, які вводяться в рідину (протиспрацьовувальні, антиокиснювальні, антистатичні тощо), не змінювати своїх властивостей під дією фільтрованих рідин, не забруднювати рідину частинками матеріалу, з якого виготовлений фільтр, не коштувати дорого. Застосовувані на практиці фільтроматеріали дуже різноманітні. Кожний із них має свої переваги і недоліки.

6. Вибір фільтрів і визначення місця їхнього встановлення в гідравлічній системі

Вибір конструкції і місця встановлення фільтра в системі повинний ґрунтуватися на ретельному аналізі, виходячи з необхідного ступеня очистки і вартості.

При виборі фільтра крім таких характеристик, як розмір утримуваних частинок, міцність, пропускну здатність, гідравлічний опір, варто враховувати термін служби фільтра і зручність обслуговування.

Для вибору фільтра потрібно знати такі параметри: необхідний клас чистоти рідини, фізико-хімічні властивості очищуваної рідини, температурний режим експлуатації, робочий тиск, прокачування. Необхідно також мати принципову і монтажну схеми системи, щоб на ній визначити місце встановлення фільтрів.

Характеристика очищуваної рідини необхідна для вибору фільтроматеріалу. Фільтрувальний матеріал не повинний впливати на рідину, так само, як і рідина не повинна впливати на фільтр. Усі ці фактори взаємозалежні і не можуть розглядатися ізольовано один від одного.

Корпус фільтра розраховують на визначений робочий тиск. Доцільно не вибирати фільтри з великим запасом міцності, тому що вони мають великі масу, габарити і вартість.

Не можна допускати збільшення прокачування понад встановлене, тому що це призводить до збільшення гідравлічного опору і зниження ефективності очистки.

Обираючи місце встановлення фільтра, потрібно пам'ятати, що під час експлуатації фільтри періодично обслуговуються: відбувається заміна фільтроелементів, регенерація і зливання відстою, контроль тенічного стану і

тощо. Тому місце встановлення фільтрів у системі повинно бути легкодоступним, а фільтр легко-змінним. Технічне обслуговування фільтра повинно виконуватися без демонтажу трубопроводів та інших елементів системи.

При послідовному підключенні в магістраль декількох фільтрів із різноманітною тонкістю фільтрації, що підвищуються по шляху прямування рідини, виникає задача добору фільтрів, які забезпечують максимальну тривалість роботи. Важливо, щоб забруднення всіх фільтрів відбувалося рівномірно, заміна або їхня промивка проводилася одночасно. Це полегшить експлуатацію фільтрів.

Однаковий ресурс усіх трьох фільтрів буде виконуватись при дотриманні умови

$$\frac{\Delta G_1 S_1}{m_1} = \frac{\Delta G_2 S_2}{m_2} = \frac{\Delta G_3 S_3}{m_3},$$

де $\Delta G_1, \Delta G_2, \Delta G_3$ – відповідно гряземісткість фільтраційного матеріалу першого, другого і третього фільтрів, г/см²; S_1, S_2, S_3 – поверхні фільтрації цих фільтрів, см².

Гряземісткість одиниці площі фільтроматеріалу визначають експериментальним шляхом за формулою

$$\Delta G = G_3 - G_ч,$$

де G_3 і $G_ч$ – відповідно маса забрудненого і чистого фільтраційного матеріалів, віднесена до одиниці площі, г/см².

7. Очистка нафтопродуктів від води

Технологія очистки нафтопродуктів від води передбачає найрізноманітніші методи. Вибір способу очистки залежить від об'єму очищуваної рідини, її в'язкості, призначення і різноманітних властивостей. Через різні процеси, що відбуваються при очищенні авіаційних ПММ від води, методи очистки підрозділяють на хімічні, фізико-хімічні і фізичні.

Хімічні методи очистки авіаційних ПММ від води використовують хімічну взаємодію нерозчинної води в пальному й мастилах із речовинами. Внаслідок реакції такої взаємодії виникають тверді, нерозчинні продукти і газ. Для цієї мети можна використовувати гідриди кальцію, літію й алюмінію. Можуть також застосовуватись оксиди та карбіди різноманітних металів. Найбільш поширеними матеріалами для хімічного осушення авіаційних ПММ є гідрид кальцію, оксид кальцію і карбід кальцію.

Хімічні реакції спричиняють до утворення нерозчинних у нафтопродукті гідроксида кальцію і газу, що супроводжується виділенням великої кількості тепла, що в свою чергу, підвищує ефективність цього процесу. Хімічне збезводнення нафтопродуктів проводять двома способами: статичним і динамічним.

Статичний метод осушення полягає у введенні реагенту в ємність із нафтопродуктом. Можна засипати реагент у вигляді порошку в ємність або помістити його в перфорований патрон, занурюваний до нафтопродукту.

Динамічний метод здійснюється шляхом прокачування пального або мастила через ділянку трубопроводу, заповненого реагентом.

Статичний метод більш простий, проте періодично потрібна така трудомістка операція, як зачистка резервуарів.

Хімічний спосіб очистки нафтопродуктів не знайшов широкого застосування на складах ПММ. І статичний, і динамічний методи хімічної очистки – порівняно трудомісткі операції. Ці методи вимагають застосування спеціальних речовин. При осушенні реагентами виділяються газоподібні речовини (водень і ацетилен), що потребують спеціальних правил поводження з ними.

Динамічний спосіб вимагає спеціального і громіздкого обладнання (насос, фільтри, регулятори і т.ін.). Перераховані обставини стримують застосування хімічного методу очистки нафтопродуктів від води в промислових масштабах.

Фізико-хімічний метод заснований на здатності деяких речовин (адсорбентів) утримувати воду на своїй поверхні. Як адсорбенти застосовують матеріали у вигляді твердих порошків або гранул, що мають високу пористість, і, як наслідок, дуже велику питому поверхню. Такі матеріали зустрічаються в природі, наприклад, боксити і природні цеоліти. Для практичних цілей частіше застосовують штучні адсорбенти – селікагель, алюмогель і синтетичні цеоліти. Промисловість випускає селікагель різноманітних марок із розміром гранул від 0,2 до 7 мм. Синтетичні цеоліти мають однорідну структуру і малі розміри пор, порівнювані з розмірами глобул води. Це забезпечує їхню високу ефективність у поглинанні води і велику адсорбційну місткість. Штучні адсорбенти можуть застосовуватися багаторазово. Після того як адсорбент насичується водою, його адсорбуюча здатність зменшується. Для відновлення здатності адсорбенту до поглинання води він підлягає регенерації – десорбції поглиненої води. З цією метою застосовують продування адсорбенту гарячим повітрям, пропікання при високій температурі, промивка розчинника або сполучення цих методів.

Вибір того або іншого способу десорбції роблять на основі техніко-економічного обґрунтування.

До фізико-хімічних методів ставиться і метод, заснований на введенні присадок, що підвищують розчинність води в пальному. Введення таких присадок запобігає виникненню кристаликів льоду при низьких температурах. Широко використовувані тепер антиобледенілі присадки етилцелозолів і тетрагідрофурфуриловий спирт, підвищують загальну розчинність води в пальному за рахунок утворення водневих зв'язків із молекулами води, які знаходяться в асоційованому стані з молекулами присадки. Антиобледенілі присадки вводять у пальне при заправці літака. Їхнє число залежить від температури повітря, висоти польоту, його тривалості, а також типу літака і знаходиться в межах 0,1 – 0,3 %.

Різноманітні норми запровадження присадки, відносна дорожнеча і дефіцит сировини, з яких вони виготовляються, обмежують широке застосування. Присадки лише розчиняють наявну воду в пальному, а не збезводнюють його. Присадка переводить воду з вільного стану в розчинений.

Фізичні методи очистки нафтопродуктів від води досить різноманітні. До них відноситься очистка в силових полях, фільтрація, теплофізичний метод і масообмінні явища.

Очистка в силових полях передбачає у собі відстоювання в полі гравітаційних сил, очистку у відцентровому й електричному полях. Найбільш широко застосовують відстоювання. Суть цього методу полягає в тому, що через різноманітну густину води і нафтопродукту вода під дією сил тяжіння випадає на дно ємності. При сталому русі сферичної частинки води в полі сил тяжіння має місце таке співвідношення сил:

$$G - F_a = F_c, \quad (1)$$

де $G = \pi d^3 \rho_v / 6$ – сила тяжіння; $F_a = \pi d^3 \rho_{ж} / 6$ – архімедова сила;

$F_c = \pi d^3 \rho_{ж} / 6$ – сила опору, що діє на частинку при ламінарному русі.

З огляду на те, що коефіцієнт опору для ламінарного руху частинок малого розміру $\varphi = 24\mu / vd\rho_{ж}$, знайдемо швидкість осідання частинок у полі сил тяжіння:

$$v = \frac{d^2(\rho_v - \rho_{ж})}{18\mu_{ж}}, \quad (2)$$

де d – діаметр глобул води; ρ_v і $\rho_{ж}$ – густина відповідно води і нафтопродукту; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості нафтопродукту.

Формула (2) дає трохи завищені значення швидкості осідання частинок води. Експериментально встановлено, що швидкість осідання частинок води в пальному ТС–1 для частинок розміром 15–20 мкм складає 0,1 м/год, частинки з розміром 10–15 мкм осідають на 1 м висоти за 24 год., а п'ятимікронні частинки можуть знаходитися в завислому стані протягом семи діб і більше. Ефективному осіданню води перешкоджають енергетичні теплоконвективні потоки в резервуарах.

Задля скорочення часу відстою пального резервуари обладнують системою забору пального з верхніх шарів.

Очистку нафтопродуктів від води можна проводити в спеціальних пристроях – відстійниках. Їх ще називають – гравітаційними очисниками. Конструктивно відстійники можуть бути безупинної і періодичної дії. Найбільшого поширення набули відстійники безупинної дії з пакетом конічних тарілок (рис. 3). Суть роботи такого очисника полягає ось в чому. Обводненне пальне надходить у середину відстійника, де розділяється на численні тонкі шари. Під дію сили тяжіння вода накопичується на верхній поверхні конічних тарілок, дрібні краплі укрупнюються потім стікають по похилій поверхні і потрапляють до відстойної зони. Зливання води з відстойної зони може здійснюватися вручну або автоматично без припинення прокачування очищеного пального.

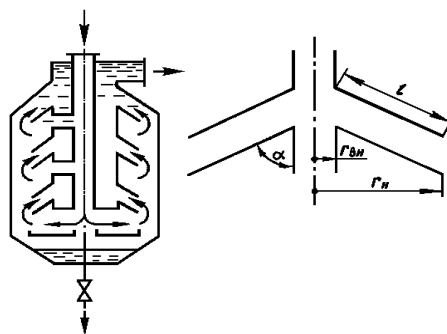


Рис. 3. Схема гравітаційного відстійника з конічними тарілками.

При заданій пропускній здатності ефективність відстоювання залежить від загальної поверхні осідання тарілок, а не від об'єму відстійника. Прискорити процес осідання води можна шляхом використання відцентрових сил, пропускаючи нафтопродукти через швидко обертові судини.

Створення відцентрового поля можна забезпечити закручуванням потоку очищуваного нафтопродукту в нерухомому апараті. Такі устрої називаються гідроциклонами. У них відсутні рухомі елементи, у зв'язку з чим вони надійні в роботі, прості по конструкції і мають великий термін служби. Проте в них не вдається одержати великі значення відцентрових сил. Це знижує їхню ефективність щодо очистки нафтопродуктів від води. Деякі зарубіжні фірми встановлюють гідроциклони в як попередні засоби очистки від великих частинок води і механічних домішок.

Існує велика кількість різноманітних схем відцентрових очисників. Проте для очистки нафтопродуктів від води на особливу увагу заслуговують відцентрові очисники з безупинним виведенням очищеного нафтопродукту і води, тобто відцентрові сепаратори.

За допомогою центрифуг можна одержати високий ступінь очистки нафтопродуктів від води. Проте широкого поширення центрифуги на складах авіаційних ПММ не набрали через складність відцентрових очисників, необхідності виконання суворих правил експлуатації, громіздкості устаткування і споживання великої кількості енергії.

Обезводжування нафтопродуктів в електричному полі зводиться до спрямованого руху крапель води і їхньому злиттю. Укрупнені краплі під дією сили тяжіння осідають у відстойній зоні. Під дією електричного поля частинки води отримують заряд і, взаємодіючи з полем, приходять в упорядкований рух. І наявність заряду, і примусовий рух заряджених крапель сприяють злиттю дрібних крапель у більш великі. Тепер механізм придбання заряду частками води до кінця не вивчений, проте створено декілька конструкцій експериментальних електросепараторів. Відрізняються вони характером утворюваного в них електричного поля, застосуванням току різних видів, конструкцією електродів, камер, організацією потоку очищуваного нафтопродукту тощо. Всі вони показали високу ефективність процесу зневоднення авіаційних ПММ. Електричні методи зневоднення привертають увагу дослідників ще й тим, що процес очистки нафтопродуктів безупинний, в пристроях відсутні рухомі елементи, невелика витрата енергії, постійний

гідравлічний опір. Це створює умови для автоматизації такого процесу. Найбільш перспективним вважається застосування неоднорідного електричного поля в пристроях безупинного збезводнення. Задля підвищення ефективності очистки нафтопродуктів від води можуть застосовуватися комбіновані методи. Застосування ультразвукових коливань підвищує ефективність очистки в гравітаційному полі. При впливі вібрації на очищувану емульсію прискорюється процес коалесценсії (процес укрупнення) мікрокрапель і тим самим забезпечується велика швидкість осідання частинок, а час відстоювання може скоротитися в п'ять – шість разів.

Існують відомості про застосування електричного поля у відцентрових очисниках. Процес укрупнення частинок води в електричному полі відбувається більш інтенсивно, при цьому процес осідання води в центрифугі відбувається більш ефективно. Застосування комбінованих методів дозволяє скоротити витрати енергії, зменшити розміри і масу обладнання, що є перспективним напрямком вивчення процесу очистки нафтопродуктів від води.

Теплофізичні методи збезводнення полягають у нагріванні, заморожуванні і використанні масообмінних процесів.

Нагрівання нафтопродуктів застосовується з метою випаровування вільної води з подальшим вилученням парів. Для випаровування води нафтопродукти нагрівають до температури вище 100 °С. Однак швидке нагрівання нафтопродуктів, особливо мастил, до настільки високої температури може привести до утворення піни і викиду мастил із нагрівальної ємності. Тому нагрівання масел рекомендується проводити в два етапи. Спочатку мастило нагрівають до температури 70 – 80 °С протягом шести–семи годин, потім при температурі 105–110 °С не більше 36 год. Така технологія осушення масел повинна виконуватися в бойлерах маслостанцій або в маслозаправниках. Проте повністю вилучити воду не вдасться, тому що частина вільної води при нагріванні нафтопродуктів переходить у розчинену. Процес осушення нафтопродуктів шляхом нагрівання можна значно прискорити і досягти повного вилучення вільної води, якщо виробляти його у вакуумі. Для цього потрібне спеціальне обладнання, схема якого подана на рис. 4. Нагріте до температури 70 – 80 °С мастило насосом 1 подається в розпилювач 4, який знаходиться у вакуумній колонці. За допомогою вакуум–насоса 7 у колонці створюється розрідження 170–180 мм рт.ст. Продуктивність подібних пристроїв залежить від розміру вакуумної колонки і потужності нагрівання, вакуум–насоса, а також хімічного складу мастила і ступеня початкової обводненості.

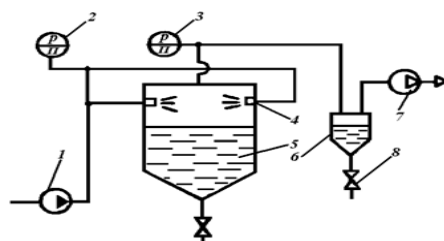


Рис. 4. Схема установки для збезводнення нафтопродуктів: 1 – на-сос; 2 – манометр; 3 – мановакуумметр; 4 – форсунка; 5 – бак; 6 – паст-ка для нафтопродуктів; 7 – вакуум-насос; 8 – кран

Проте обладнання для вакуумного осушування мастила досить громіздке, а сама операція збезводнення є складною і тому цей спосіб не набув широкого поширення.

Збезводнення пального нагріванням практично не застосовують. Проте в літакових системах пального використовують підігрівання пального з метою запобігання виділенню кристалів льоду на відповідальних ділянках паливної системи.

Таким способом зазвичай захищають фільтри пального. Нагрівання пального здійснюють в паливно-мастильному радіаторі.

Задля цього також можуть використовуватися електричні підігрівники, підігрівання гарячим повітрям двигуна, який забирає з компресора. При цьому підігрівання може здійснюватися тільки при зниженні температури пального нижче 5 °С. Керування процесом підігрівання може здійснюватися автоматично.

Найбільшого поширення метод виморожування одержав для збезводнення пального у природних умовах. Суть методу полягає в тому, що при охолодженні пального до мінусових температур основна маса води переходить із розчиненого стану у вільний. Замерзаючи, вода перетворюється на кристали льоду, що випадають на дно резервуара або можуть відфільтровуватися при перекачуванні з одного резервуара до іншого.

Очистку пального від води можна здійснювати шляхом штучного охолодження, проте для цього потрібно громіздке, складне і дороге холодильне обладнання, а також значна витрата енергії.

Масообмінний спосіб вилучення води з нафтопродуктів дозволяє досягти глибокого збезводнення за малий час і при порівняно низьких витратах. Суть цього методу полягає в досягненні динамічної рівноваги між ступенем насиченості водою нафтопродукту і газу, що контактує із ним. Вода може переходити з нафтопродукту в газ або навпаки. Це залежить від вологомісткості. Як газ можуть використовуватися повітря, азот. Розрізняють два основні способи масообміну з газом.

Перший спосіб полягає в продуванні сухого повітря через товщу нафтопродукту. Другий забезпечується вентиляцією газового простору ємності з нафтопродуктом. Кожний спосіб забезпечує зниження концентрації води в будь-якому нафтопродукті. Найбільшого поширення масообмінний метод набув для осушення пального, хоча може з успіхом застосовуватися також для мастильних матеріалів. Швидкість збезводнення залежить в основному від площі контакту фаз і концентрації води в них. Найбільший ефект з'являються при продуванні сухого повітря через шар охолодженого нафтопродукту. При охолодженні нафтопродуктів концентрація води в них знаходиться на рівні верхньої межі розчинності, що сприяє прискореному перенесенню води в сухе повітря. З іншого боку, велика кількість дрібних пузирчиків повітря має велику площу контакту з нафтопродуктом. Прямування пузирчиків викликає

змішування рідини, що в свою чергу, сприяє вирівнюванню концентрації води по всьому об'єму нафтопродукту.

Схема осушення пального в резервуарі продуванням повітря приведена на рис. 5.

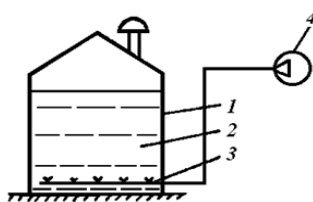


Рис. 5. Схема осушення пального продуванням повітря: 1 – ре-зервуар; 2 – пальне; 3 – повітряний колектор; 4 – компресор

Недолік описаного способу масообмінного осушення полягає у втраті легких фракцій нафтопродуктів, що виносяться продувним повітрям. Не виключена можливість забруднення нафтопродуктів атмосферним пилом.

Очистка нафтопродуктів від води може бути здійснена шляхом обладнання холодильної камери в надпаливний простір резервуара (рис. 6). Робота такої системи здійснюється циклічно. При роботі холодильного устаткування волога, що міститься в газо-повітряному просторі, намерзає на випарнику 1. Поступово відносна вологість у надпаливному просторі знижується, що спричиняє зниження утримання води в пальному. Періодично прокачування холодоагенту припиняють а відталу воду відводять по трубопроводу 3 за межі резервуара.

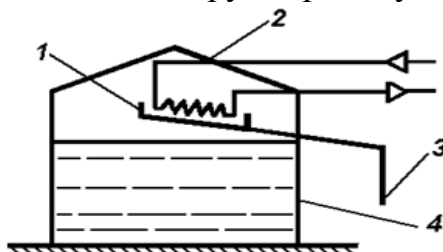


Рис. 6. Принципова схема осушення виморожуванням: 1– охо-лодник; 2 – піддон; 3 – патрубок для відведення води; 4 – резервуар із паливом

Очистка нафтопродуктів від води методом фільтрації полягає в пропусканні нафтопродукту через пористі перегородки, що складаються з гідрофобних і гідрофільних волокон. По ходу плину рідини у фільтрах встановлюють дві перегородки–коагульована і водовідштовхувальна.

Процес осідання здійснюється в декілька етапів. При підході мікрокрапель води до волокон коагульованого ступеня вони осідають на них, витісняючи з поверхні волокна клітину нафтопродукту. Поступово краплі води укрупнюються за рахунок осідання мікрокрапель, що знову осіли. Значні краплі води під дією сили тяжіння стікають по волокнах у нижню частину (відстойну зону) фільтра. Проте можливе проскакування нескоагульованих мікрокрапель через першу перегородку. У такому випадку вони затримуються волокнами водовідштовхувального ступеня, які виконані з гідрофобного матеріалу. У порах цієї перегородки під дією сил поверхневого натягу утвориться плівка нафтопродукту, що перешкоджає влученню води в капіляр. Таким чином нафтопродукти протікають через перегородку, а мікрокраплі води

затримуються. Поступово вода коагулює і великі краплі води осідають в нижню частину фільтра. Підхід мікрокрапель води до волокон прилипає до їхньої поверхні, коагуляція і плин через товщу фільтроматеріалу обумовлюються цілим рядом сил і фізичних явищ. Тут мають місце сили адгезії, поверхневого натягу, гідродинамічні сили, гравітаційні, електростатичні і Ван-дер-Ваальсові сили.

8. Конструкція фільтрів-сепараторів

Тепер вітчизняна промисловість випускає одноступінчаті фільтри-сепаратори СТ-500-2, СТ-500-3. Фільтри-сепаратори цього типу виконані у вигляді вертикальної циліндричної судини (рис. 7) із кришкою 3. Всередині корпусу є три концентрично розташовані кошики, на які одягаються фільтрувальний 5 і водовіддільний 6 чохла. Перегородка, яка відділяє воду, виконана із суміші гідрофільних і гідрофобних волокон так названого волокна Воюцького. Ця суміш складається на 30 % з капронових і на 70 % з бавовняних волокон. У фільтрі-сепараторі перегородка, що відділяє воду, по товщині розділена на дві частини, кожна з яких укладена в оболонку з тканини перкаль марки П, а зовнішня оболонка виконана зі склотканини АСТ-100. Нижня частина чохла закінчується шлейфами 7 трикутної форми.

Таким чином, пальне у фільтрі послідовно проходить такі шари, що фільтрують: склотканина АСТ-100; перкаль П, що відділяє перегородку (волокно Воюцького); два шари перкаля П; волокно Воюцького; перкаль П і склотканину АСТ-100. У фільтрі СТ-500-2М, де є коагулюючий шар з матеріалу ФПП-ДС, що розташований між фільтрувальною і водовіддільною перегородками. Цей захід підвищує тонкість фільтрації й ефективність відділення води. При протіканні пального, механічні домішки затримуються на фільтрувальній перегородці, а мікрокраплі води за рахунок сил адгезії прилипають до гідрофільних волокон, збільшуються і по шлейфах стікають у відстойну зону. Гідрофобне волокно затримує нескоагульовані мікрокраплі води. Пальне, очищене від частинок забруднень і води виходить із фільтра через патрубок 1. Усі модифікації фільтрасепаратора виконані з однаковими габаритно-встановленими розмірами.

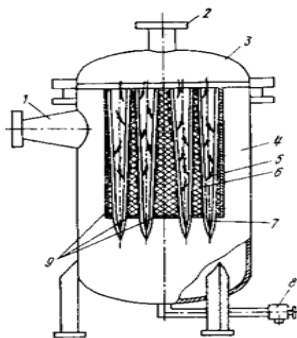


Рис. 7. Конструкція фільтра-сепаратора СТ-500-2: 1-вихідний патрубок; 2-патрубок входу; 3-кришка; 4-корпус; 5- фільтрувальний чохол; 6- водовіддільний чохол; 7-шлейфи; 8-патрубок зливу; 9-каркас

Недоліком описаних фільтрів-сепараторів є те, що перед тим, як потрапити у відстойну зону мікрокраплі води проходять великий шлях у вертикальному напрямку в товщі чохла, що відділяє воду. За час прямуювання краплі можуть знову дробитися і знову коагулюватися. Ця обставина ускладнює процес збездоднення.

Фільтрувальний чохол розташований першим з боку потоку палива. Тому на чохол, який відділяє воду, пальне надходить вже очищеним від забруднень. Таке взаємне розташування чохлів підвищує ефективність водовідділення.

Більш ефективно здійснюється очистка пального від механічних домішок і емульсійної води в триступінчастому фільтрі-сепараторі СТ-2500. Фільтр, виконаний з відокремлених один від одного корпусів, сполучених між собою за допомогою патрубків.

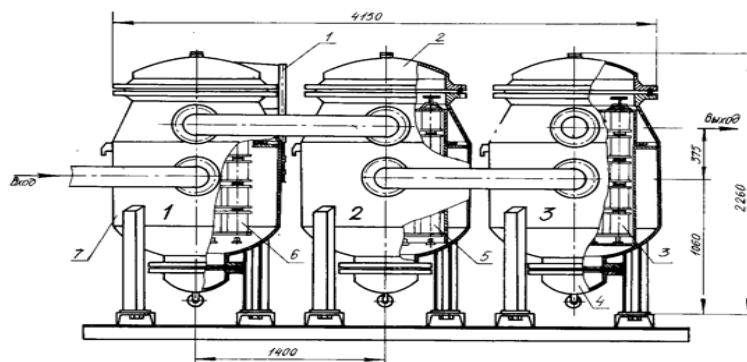


Рис. 8. Конструкція фільтра-сепаратора СТ-2500: 1 – підйомноповоротний устрій; 2 – кришка; 3 – фільтроелемент 8Д2.966.800; 4 – відстійник; 5 – фільтроелемент 8Д2.966.115; 6 – фільтроелемент 8Д2.966.055; 7 – корпус.

Пальне послідовно проходить через фільтрувальну секцію (рис. 8). У першому ступені розміщені елементи, що фільтрують, 8Д2.966.055. Фільтроелементи 6 складаються з двох шарів: перший із паперу АФБ-1к, другий із паперу АФБ-5, просочені 20-процентним розчином бакелітової смоли в спирті з подальшою полімеризацією. Цей фільтроелемент забезпечує номінальну тонкість фільтрації 5 мкм, абсолютну – 8 мкм. Пропускна здатність одного елемента 85 л/хв.

Другий ступінь фільтра-сепаратора має коагулюючі фільтроелементи 8Д2.966.115. Фільтроелементи 5 складаються з шару ультратонкого скловолна АТМ-1, двох шарів матеріалу з тонкістю фільтрації 2 мкм і шару паперу АФБ-5. Фільтро-елементи виконані у вигляді гідрофобних циліндрів, що ззовні обернені п'ятьма шарами матеріалу АТМ-1, одним шаром склотканини і закритий перфорованим алюмінієвим циліндром.

Основним призначенням фільтроелементів 5 є коагуляція збільшення мікрокрапель емульсійної води, які містяться в пальному. Відбувається це в товщі матеріалу фільтроелемента. Частинки, які скоагулювалися, розміром 100 мкм і більше, стікають у відстійник 4. Частинки забруднення також можуть затримуватися у фільтроелементах цього ступеня. Гофровані елементи третього водовідштовхувального ступеня складаються з одного шару капронової

тканини, просоченої кремнієорганічною рідиною, одного шару паперу АФБ–5 і вестви капронової сітки (канви).

Фільтр складається з трьох самостійних, однакових по конструкції корпусів 7 із кришками 2. У кожному корпусі встановлено по 50 фільтроелементів 4, 5, 6. Для забезпечення піднімання кришки 2 при обслуговуванні фільтра–сепаратора на ньому є підйомно–поворотний пристрій 1. Впровадження цього фільтра цілком задовольняє сучасні вимоги, які висуваються до очистки пального від механічних домішок і води. Фільтр має і достатню пропускну здатність. Кожний ступінь фільтра має по два манометру, що забезпечують контроль тиску палива у фільтрі і перепад тиску на ньому. Для зручності обслуговування фільтра–сепаратора навколо нього споруджується естакада з огороженням.

На сьогодні для фільтрації авіаційного пального розроблений двоступінчатий фільтр паливний–водовіддільник ФТВ–1500 (рис. 9). Він складається з корпуса 2 і кришки 4, патрубків входу 7 і виходу 1 пального. Фільтрована рідина надходить на перший щабель фільтрації через патрубок 7. Цей ступінь фільтрації складається з двадцяти фільтроелементів 8Д2.966.115. Потім пальне надходить на другий ступінь фільтрації, який складається також із двадцяти фільтроелементів 8Д2.966.800.

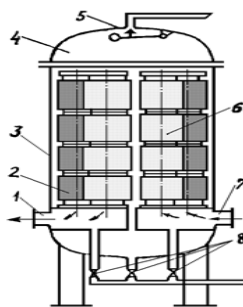


Рис. 9. Схема фільтра ФТВ–1500: 1 – патрубок виходу рідини; 2 – корпус; 3 – фільтроелементи другого щабля; 4 – кришка; 5 – автоматичний клапан випуску повітря; 6 – фільтроелемент першого ступеня; 7 – патрубок уходу рідини; 8 – крани зливу води

На вхідному і вихідному патрубках є дискові затвори, а на кришці змонтований поплавковий кран автоматичного випуску повітря. У нижній частині фільтра розташовані крани 8 випуску відстойної води. Фільтр оснащений двома манометрами для вимірювання перепаду тиску на фільтруючих елементах обох ступенів.

Висока тонкість фільтрації, невеликі габарити і маса фільтра забезпечують йому широке застосування для очистки авіаційного палива від механічних домішок і води в стаціонарних і рухомих системах заправки повітряних судів і складів ПММ аеропортів.

Сучасна система наземного паливозабезпечення на складах ПММ відповідно до прийнятого технологічного процесу прийому, зберігання, видачі авіапалива на заправку і заправки повітряних суден, відповідно до інструкцій, умовно містить три зони:

I – прийом, попередня очистка і зберігання авіапалива;

II – основна очистка і видача авіапалива в паливозаправникі (ПЗ) або централізовану систему заправки літаків (ЦЗЛ);

III – очистка авіапалива фільтрами заправних засобів і заправка його в систему ПС.

Передбачені також такі заходи, спрямовані на попередження влучення забруднень у паливо під час його руху від нафтопереробного заводу до споживача:

- формування груп відстійних і роздавальних резервуарів із плаваючими паливоприймачами, пристроями для відкачування відстою;
- встановлення повітряних фільтрів на резервуарах, цистернах, баках ПС;
- герметизація процесів перекачування палива і заправки для захисту від пилу і волог;
- застосування стійких матеріалів або антикорозійних покриттів усередині резервуарів на складах ПММ у пальноприймальних системах ПС;
- періодичне вилучення забруднень, які накопичилися, із резервуарів, їхня очистка і промивка.

У лініях зливу реактивного палива з залізничних цистерн застосовують фільтри типу ФГН із чохлами з нетканого матеріалу в два шари.

При роботі фільтрів–сепараторів у його відстійній зоні накопичується відокремлювальна вода. Для запобігання влучення води у фільтрат, цю воду необхідно регулярно зливати. Це можна здійснювати автоматично. Суть роботи такого пристрою заснована на поплавковому датчику кількості води, яка зібралася. Поплавок повинен мати об'ємну густину менше, ніж густина води і більше ніж густина гасу. При цьому поплавок буде завжди знаходитися на поверхні поділу води і гасу. В міру накопичення води поплавок підіймається і через систему тяг відкриває клапан зливу. Після зливу визначеної частини води з відстійної зони фільтра поплавок опускається, а клапан зливу води закривається.

Застосовувана в цивільній авіації технологія очистки палива і інших ПММ від механічних домішок забезпечує необхідну чистоту. Проте матеріальні витрати на очистку палива і експлуатації систем фільтрації є достатньо високими. У зв'язку з цим завжди є актуальними питання створення нових високоефективних засобів і технологій очистки авіаційного палива на підприємствах ЦА. Найбільш перспективною очисткою нафтопродуктів є очистка в силових полях.

Силові очищувачі порівняно з механічними фільтрами мають незначний гідравлічний опір і можуть виконуватися в термостійкому варіанті, але, як правило, мають велику вагу і потребують спеціальне джерело енергії.

9. Гравітаційна очистка рідин

Очистка рідин у гравітаційному полі відбувається під дією сили тяжіння.

Найбільш поширеним гравітаційним очищувачем є резервуар для зберігання рідин. Проте частинки розміром менше 10 мкм у ньому практично не осаджуються. Цьому заважають інтенсивні конвективні потоки, спричинені різницею температури рідини в різноманітних місцях резервуара. Кращих результатів гравітаційної очистки можна досягти в підземних резервуарах, оскільки на глибині більше 0,6 м температура нафтопродукту є практично постійною.

Резервуари (або інші ємності) відносяться до статичних гравітаційних очищувачів періодичної дії.

Набагато більш ефективні, із погляду продуктивності, динамічні очищувачі (рис.10 б). Вони вигідно відрізняються тим, що в них процес очистки і видачі очищеної рідини відбувається безперервно. За таким типом збудована більшість нафтоуловлювачів на складах ПММ аеропортів.

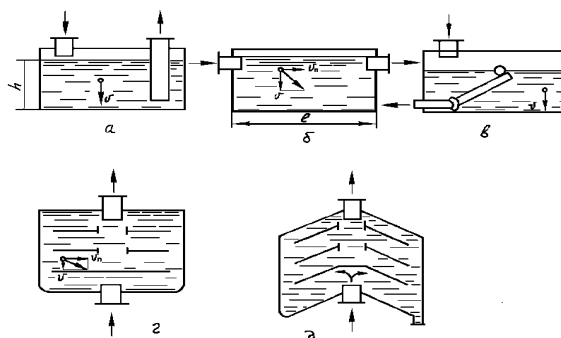


Рис. 10. Схеми різноманітних гравітаційних очищувачів: а) статичний очищувач; б) динамічний проточний очищувач; в) резервуар (статичний відстійник) із верхнім пристроєм відбору очищеної рідини; г) тонкошаровий гравітаційний очищувач із плескатими тарілками; д) із конічними тарілками

З метою підвищення продуктивності відстійники доцільно виконувати багатошаровими, для чого їхню внутрішню порожнину розподіляють на декілька шарів (рис.10,г). Прокачування через такий гравітаційний очищувач може бути збільшене у стільки разів, на скільки шарів розподілено його внутрішню порожнину. При невеликій товщині очищавеного шару їх може бути дуже багато. Такі очищувачі одержали назву тонкошарових або багатошарових гравітаційних очищувачів. Існують конструкції, в яких внутрішня порожнина розділена конічними поверхнями (тарілками). Це конструктивне рішення дозволяє забезпечити більш легке вилучення осадку за рахунок зворотнього потоку рідини з використанням (або без нього) вібрації осаджувальних тарілок. Гравітаційні очищувачі, як правило, використовують для очистки малов'язких рідин від значних частинок. Їх можна використовувати у фільтрації в якості пристроїв, що забезпечують попередню очистку і продовжують термін служби фільтрів тонкої очистки.

На складах ПММ авіапідприємств ефект гравітаційної очистки авіапалива використовують шляхом забезпечення необхідного часу відстоювання в резервуарах: чотири години на кожний метр взливу для реактивного палива і одна година - для бензинів. З метою скорочення часу на гравітаційну очистку

палива витратні резервуари обладнують плаваючими паливозабирачами. У цьому випадку загальний час відстою не зменшується, проте видачу палива можна здійснювати через невеликий час після заповнення резервуара.

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

Спеціально створені тонкошарові очищувачі можуть забезпечувати більш високу тонкість очистки порівняно з очисткою у резервуарах і відстійниках. Ще кращої якості очистки рідин від механічних домішок можна досягти, якщо забезпечити зниження впливу таких негативних чинників, як вібрація, зниження конвективних потоків, пульсація потоку рідини в очищувачі і гідроудари.

10. Відцентрова очистка рідин

Відцентрова очистка рідин - це відділення частинок забруднень з очищеної рідини в поле відцентрових сил.

Відцентрове силове поле штучно створюється шляхом швидкого обертання рідини в роторі відповідного виконання (рис. 11).

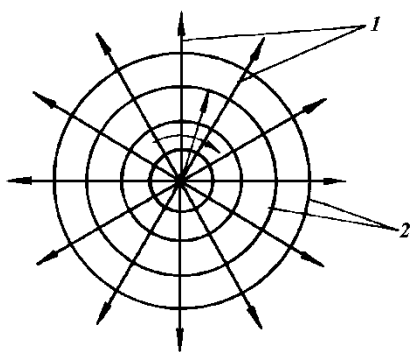


Рис. 11. Відцентрове силове поле: 1 - силові лінії; 2 - еквіпотенціальні лінії силового поля

Створити відцентрове поле для очистки рідини можна двома шляхами: обертанням потоку рідини в нерухомому пристрої і обертанням ротора разом із рідиною, що міститься в ньому. Апарати першого типу називають гідроциклонами, а другого – центрифугами або відцентровими очищувачами.

Гідроциклони мають циліндричну, циліндро-конічну і конічну форми. За характером руху рідини через внутрішню порожнину гідроциклонів вони можуть бути пряموструмні і протиструмні - у них напрямок потоку змінюється на 180°. Закручення потоку рідини в гідроциклонах забезпечується або встановленням спеціальних завихрювачів (аксіальні гідроциклони), або бічним (тангенціальним) підведенням потоку рідини. На рис. 12. показані схеми гідроциклонів із різноманітним способом організації потоку. Прямострумні (аксіальні) гідроциклони показані на рис.13.

В апаратах цього типу на вході встановлюють гвинтові або розеткові завихрювачі. Пройшовши ці пристрої, потік рідини отримує обертальний рух, внаслідок чого частинки забруднень, які мають щільність більшу, ніж густина очищеної рідини, відкидаються до периферії внутрішнього простору гідроциклона. Під дією сили тяжіння, забруднення, яке накопичилося,

осаджується в нижній частині гідроциклону, звідки періодично вилучається через зливальний патрубок.

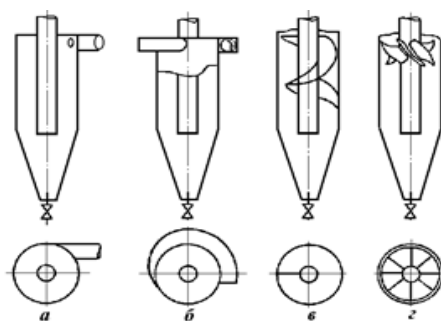


Рис. 12. Протиструмні гідроциклони: із тангенціальним підводом потоку рідини *а*) ; із спіральним підводом *б*) ; з гвинтовим завихрювачем *в*) ; з розетковим завихрювачем *г*) з розеточним завихрювачем

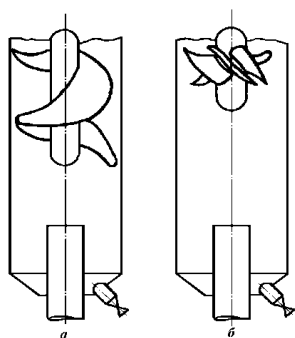


Рис. 13. Аксиальні гідро-циклони з винтовим *а*) та розетковим завихрювачем *б*)

Із збільшенням діаметра гідроциклону збільшується його продуктивність, проте знижується ефективність очистки. Зменшення діаметра гідроциклону призводить до підвищення ефективності очистки і збільшення гідравлічного опору.

Для збільшення пропускної здатності при зберіганні ефективності очистки рекомендується з'єднувати паралельно декілька гідроциклонів малого діаметра.

Аксіальні гідроциклони мають менший гідравлічний опір і більш низьку ефективність очистки.

Протиструмні гідроциклони мають більш високу ефективність очистки. Підвищений гідравлічний опір цих гідроциклонів спричинений, в основному, зміною напрямку руху рідини на 180° .

Гідроциклони характеризуються деякими позитивними властивостями: у них відсутні рухомі частини і тому нема потреби в їхньому ущільненні й обслуговуванні; їх відрізняє простота конструкції, великий термін служби. Порівняно велика пропускна здатність і низький гідравлічний опір (у порівнянні з фільтрами) дозволяють застосовувати їх у якості пристроїв попередньої фільт-рації і встановлювати на лініях зливу малогрузьких нафтопродуктів із транспортних засобів.

Центрифуги є апаратами, в яких очистка рідини відбувається в роторі, що обертається з великою частотою. Якщо він одержує обертання від якогось механічного приводу (електродвигуна, двигуна внутрішнього згорання та ін.),

то такі центрифуги називають активними. На відзнаку від активних існують центрифуги реактивні. Ротор таких центрифуг обертається, використовуючи енергію потоку рідини, що протікає через його внутрішню порожнину.

Найбільше прості за конструкцією товстошарові центрифуги (рис. 14). На практиці такі пристрої застосовують для грубої очистки рідини. Пристрій складається зі статора 1 і ротора 2, який обертається на підшипниках 4. Ротор може бути приведений до руху від приводу будь-якої конструкції. У реальних конструкціях ротора може розміщатися центральне тіло 3. Воно розташовується в малоефективній зоні (через слабку напруженість відцентрового поля) і може слугувати віссю або валом ротора або виконувати функції, пов'язані з організацією потоку рідини всередині центрифуги.

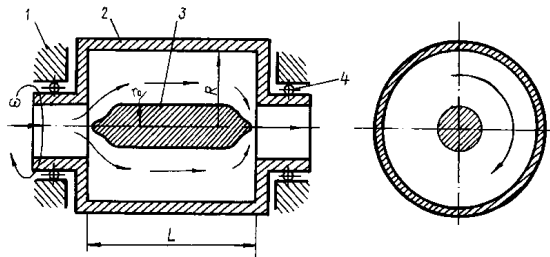


Рис. 14. Схема товстошарової центрифуги: 1 - статор; 2 - ротор; 3 - центральне тіло; 4 - підшипник

Забруднена рідина надходить у порожнину ротора і проходить через кільцевий простір на вихід. Шлях рідини показаний стрілками на рис. 14. Внаслідок впливу відцентрових сил частинки забруднень осаджуються на внутрішній поверхні циліндричної частини ротора.

Центрифуга з циліндричною багатошаровою вставкою 2, яка являє собою блок концентрично розташованих циліндрів (труб). Така вставка розділяє потік рідини на велику кількість тонких шарів.

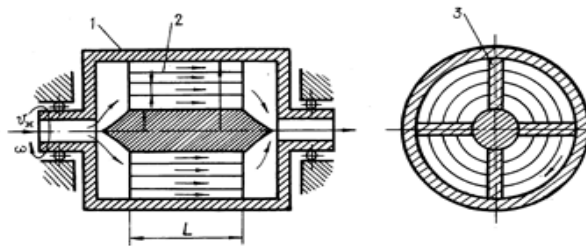


Рис. 15. Схема центрифуги з тонкошаровою вставкою у вигляді блока концентричних циліндрів: 1 - ротор; 2 - блок концентричних циліндрів; 3 - перегородки

Очистка рідини здійснюється в усіх кільцевих шарах одночасно. За рахунок малого шляху, який треба пройти частці до поверхні осадження, значно підвищується продуктивність і тонкість очистки тонкошарових центрифуг.

З метою покращення технологічності виготовлення застосовують тонкошарові спіральні вставки (рис. 16). Їх виконують із металевої фольги, накрученої у вигляді однозахідної спіралі. Для одержання необхідного зазора для прокачування рідини при накрученні спіралі між сусідніми шарами укладають прокладки 3 або роблять виступи.

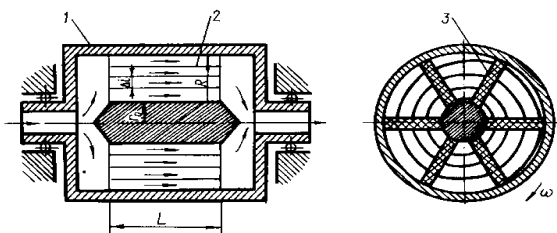


Рис. 16. Схема тонкошарової центрифуги з однокамерною спіральною вставкою: 1 - корпус ротора; 2 - спіральна вставка; 3 – прокладка

Тонкошарова відцентрова очистка може бути досягнута шляхом виготовлення багатокамерної вставки, яка виконана у вигляді багатозаходної спіралі або багатопроменевої системи. Багатокамерні вставки складніше виготовити, проте вони мають багато переваг, головним серед яких є можливість утворення брудозбірних камер.

За своєю конструкцією відцентрові очищувачі різноманітні. Всі вони мають ті або інші позитивні або негативні якості.

11. Магнітна очистка. Очистка рідин в електричному полі

Очистку рідин у магнітному полі застосовують тільки для феромагнітних матеріалів. Частинки такого походження, потрапивши в магнітне поле, будуть відчувати силу, яка перевершує силу тяжіння на декілька порядків.

Теоретичної залежності 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 збільшує вартість засобів очистки, а обслуговування такого обладнання вимагає високої кваліфікації. Розміри і маса обладнання помітно збільшуються. Проте при проектуванні стаціонарних засобів очистки з наявністю великої кількості феромагнітних частинок забруднень застосування електромагнітів може бути доцільним.

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

У практиці вітчизняного і зарубіжного машинобудування всі магнітні очищувачі можна розподілити на дві групи. До першої групи відносяться очищувачі, в яких утримання частинок здійснюється безпосередньо постійними магнітами, до другої - очищувачі, у котрих ці функції виконують феромагнітні вставки, які розміщені в полі постійних магнітів. Відомі також комбіновані конструкції, що складаються зі сполучення звичного фільтра з магнітними вставками. Використання вставок (або чохлів) із немагнітного матеріалу істотно полегшує обслуговування магнітних очищувачів. Достатньо витягти

постійні магніти і на частинки, що осіли, не будуть діяти сили магнітного поля, тобто вони можуть бути вилучені простим ополаскуванням або струшуванням.

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

- потік рідини повинен проходити тонкими шарами через область із максимальною напруженістю магнітного поля;
- режим течії рідини повинен бути ламінарним;
- чим менше в'язкість рідини, тим ефективніше процес очищення;
- сила, що діє на частинку зі сторони магнітного поля, обернено 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 створює в оточуючому його просторі електричне поле. У електричному полі розподілена енергія, за рахунок якої електричне поле одного заряду діє на інший заряд, що знаходиться в його межах. Сила F , із якою поле діє на заряджене тіло, залежить від заряду тіла q і напруженості електричного поля E в тій області, де це тіло розташоване.

Кулон у 1785 році дав кількісну оцінку силам, які діють між зарядами.

Згідно з викладеним вище, будь-яка частинка, яка має заряд і розташована в електричному полі, буде випробовувати дію його сил. Під дією цих сил частинка буде переміщуватися в напрямку результуючої сили. Сила буде тим більшою, чим більшим буде заряд частинки і напруженість електричного поля.

Заряд частинкам може бути повідомлений переважно одним із наступних способів або їхнім поєднанням:

- незаряджені частинки, які потрапляють у простір між електродами, що знаходяться під напругою, поляризуються;
- при взаємному терті частинок і при їхньому терті о середовище, в якому вони знаходяться, виникають трибоелектричні заряди; знак утворених зарядів залежить від природи стичних речовин і стану третьових поверхонь;
- частинки, які володіють якоюсь провідністю, отримують заряд при контакті з електродами;
- частинки, які потрапляють у простір, в якому має місце коронний розряд, заряджаються іонами і одержують знак заряду іонів.

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

Для осадження частинок забруднень в електричному полі необхідні такі умови:

- очищувана рідина повинна мати високий питомий опір;

– діелектрична проникність матеріалу частинок забруднень повинна бути вищою, ніж діелектрична проникність очищуваного середовища.

Сьогодні існує багато конструкцій електричних очищувачів, які відрізняються за родом електричного поля, що застосовують у них, і за способом уловлювання частинок. На рис. 1 показані схеми електричних очищувачів, у яких застосовується однорідне електричне поле. У схемах, зображених на рис. 1, а, б частинки забруднень утримуються на гладкій поверхні осаджувальних електродів. Очищувачі, виконані за цими схемами, не мають високої ефективності внаслідок того, що в міжелектродному просторі постійно утворюються "ланцюжки" із затриманих частинок забруднень.

Ці "ланцюжки" зазвичай вишиковуються вздовж силових ліній електричного поля і перекривають міжелектродний простір, постійно знаходячись під дією гідродинамічного напору. Ці "ланцюжки" періодично будуть руйнуватися потоком очищуваної рідини і виноситися з очищувача. Подібні очищувачі (рис. 17, а, б) не можуть мати велику гряземісткість.

Для підвищення ефективності осаджувальні поверхні електродів в подібних конструкціях покривають пористим діелектричним матеріалом, наприклад паралоном (рис. 17, в) або заповнюють їм увесь міжелектродний простір (рис. 17, г).

Цей захід значно підвищує ефективність очистки рідини і гряземісткість очищувачів. Проте експлуатація очищувачів із пористим наповнювачем міжелектродного простору ускладнюється тим, що періодично виникає необхідність у заміні пористих наповнювачів, що, в свою чергу, призводить до збільшення експлуатаційних і трудовитрат. Крім того, в електричних очищувачах, виконаних за схемою, зображеною на рис. 17, в, не виключена можливість утворення "ланцюжків", а очищувачі, в яких є принципова схема (рис. 1, г), мають підвищений гідравлічний опір.

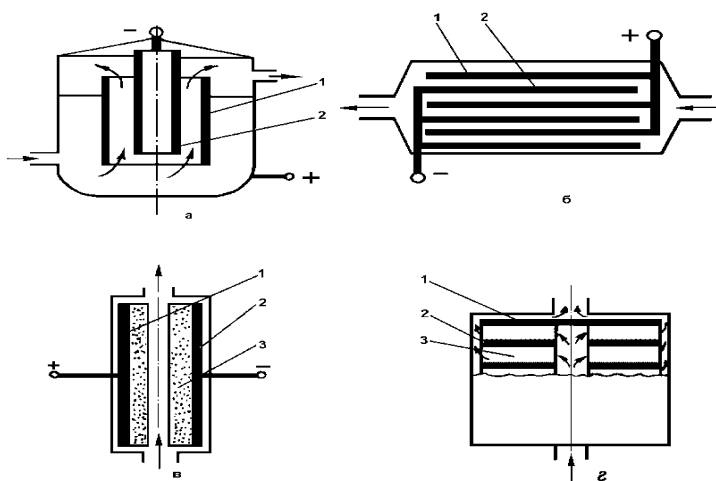


Рис. 17. Схеми електроочищувачів з однорідним електричним полем: 1 - позитивний електрод; 2 - негативний електрод; 3 - пористий діелектричний матеріал а, б - електроочищувачі з гладкими осаджувальними електродами; в - очищувач із пористим покриттям осаджувальних електродів; г - увесь міжелектродний простір заповнений пористим наповнювачем.

З огляду на те, що ефективність зарядки частинок у неоднорідному електричному полі набагато вище, ніж в однорідному полі, існують конструкції очищувачів, в яких реалізуються сили неоднорідного електричного поля (рис. 18). При цьому осадження частинок забруднень відбувається: на гладку поверхню осаджувальних електродів (рис. 18, а); на поверхню фільтрувальної сітки (рис. 18, б); в окремі осаджувальні камери (рис. 18, в); у пористе покриття осаджувальних електродів (рис. 18, в).

Аналіз переваг і недоліків розглянутих схем електроочищувачів спричинив створення електроочищувача, схема якого показана на рис. 18, е. Ця схема має гладкі осаджувальні електроди, покриті шаром електроізоляції, осаджувальна поверхня яких розташована перпендикулярно потоку очищуваної рідини. Схема забезпечує велику кількість комірок, розташованих між електродами, де відбувається накопичення осаджувальних частинок забруднень. Рух основного потоку очищуваної рідини створює додаткові умови потрапляння частинок забруднень до комірок за рахунок виникаючих завихрень потоку. Неминуче утворення "ланцюжків" у міжелектродному просторі відбувається поза основним потоком рідини і не буде сприяти винесенню частинок забруднень.

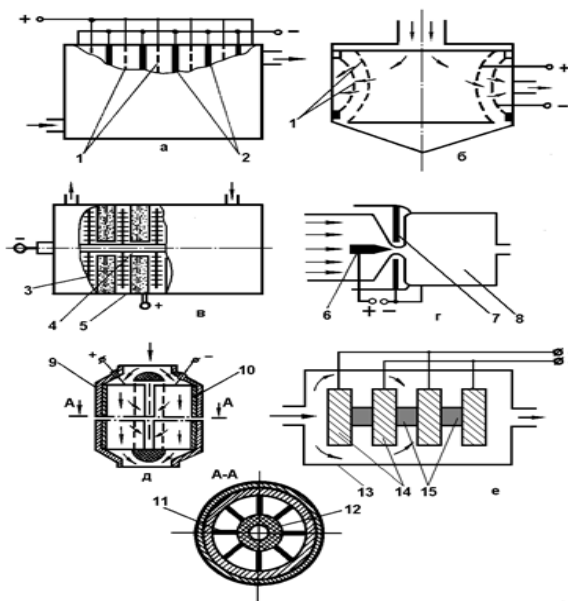


Рис. 18. Схеми електроочищувачів із неоднорідним електричним полем: 1 - сітчасті електроди; 2, 11, 14 - електроди пластини; 3 - голкові електроди; 4 - стрижень; 5 - осаджувальні електроди, заслані пористим діелектриком; 6 - голка; 7 - диск; 8,9,13 - корпус; 10 - ізоляційний стакан; 12 - стакан із пористого матеріалу; 15 - ізоляційні прокладки

Електричний очищувач (рис. 19) складається з корпуса 7, патрубку входу 5 і виходу 11 рідини і поплавкового гідравлічного клапана 10. В середині корпуса знаходиться пакет електродів 8 із прорізами. Електроди розділені між собою діелектричними перегородками 6 так, що утворюються подовжні канали з комірками-нагромаджувачами забруднень. До електродів підводиться різниця потенціалів від джерела високої напруги.

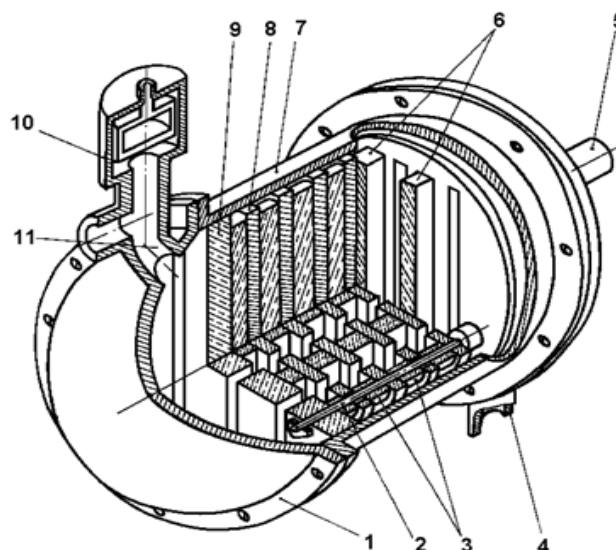


Рис. 19. Конструкція електричного очищувача діелектричних рідин: 1 - кришка; 2 - стяжна шпилька; 3 - прокладки; 4 - патрубок зливу рідини; 5 - патрубок входу; 6 - патрубок виходу; 7 - корпус; 8 - електродні пластини; 9 - діафрагма; 10 - гідравлічний поплавковий клапан; 11 – патрубок виходу очищеної рідини

Електроочищувач працює наступним способом. Потік забрудненої рідини подається в очищувач через вхідної патрубок 5.

Поверхня електродів покрита шаром електроізоляції. Це виключає перезарядку осаджувальних частинок і пробі між електродами. Забруднення накопичуються в очищувачу в глухих відгалуженнях його каналів у комірках-нагромаджувачах і не знаходяться під впливом основного потоку рідини, що виключає можливість їхнього вимивання. Очищена рідина виходить через патрубок 11.

Регенерація електроочищувача після накопичення забруднень у комірках-нагромаджувачах і зниження ефективності очистки відбувається без його розбирання. З цією метою осаджувальні електроди розташовують в пакеті таким чином, щоб прорізи електродів займали положення, близьке до вертикального, а подовжня вісь корпусу очищувача розташовувалася під кутом $\alpha=15^{\circ}-30^{\circ}$ до горизонту. При цьому патрубок зливу рідини 4 повинен знаходитися в крайньому нижньому положенні, поплавковий клапан 10 - у крайньому верхньому.

Клапан оснащений пристроєм, який запобігає можливості електроживлення осаджувальних електродів постійним током високої напруги при наявності в електроочищувачі повітря або парів рідини. Клапан дозволяє злити рідину з внутрішньої порожнини електроочищувача цілком, без залишку. Регенерація очищувача здійснюється в такий спосіб.

Прокачування рідини через очищувач припиняють і перекривають крани, встановлені на патрубках входу і виходу рідини з електроочищувача. Потім на електроди очищувача подають перемінну напругу з низкою частотою, під дією якої частинки забруднень відриваються від поверхні осаджувальних електродів і починають здійснювати коливальні рухи між ними. Відкривають кран 4 зливу

рідини з внутрішньої порожнини електроочищувача. Разом із рідиною зливається вся грязь, накопичена в очищувачі.

Порівняно із звичними фільтрами, електроочищувачі мають ряд переваг:

- високу тонкість очистки при малому гідравлічному опорі;
- велику гряземісткість;
- можливість здійснювати повну регенерацію електроочищувача (тобто відновлення робочих характеристик) без його демонтажу і розбирання;
- невелику вартість та зручність експлуатації.

Випробування електроочищувачів підтвердили високу ефективність і тонкість очистки реактивного палива, мастильних матеріалів і рідин гідравлічних систем. За один прохід рідини через очищувач затримуються до 98 % частинок, розмір яких до 5 мкм, а для частинок, розміром більше 5 мкм, коефіцієнт відфільтровування дорівнює одиниці.

Відмінною особливістю електроочищувачів є невелика витрата електричної енергії на одиницю об'єму очищеної рідини. При робочій напрузі 5000 В електричний очищувач реактивного палива, розрахований на прокачування 100 л/хв, споживає порядку 100 мк, що в перерахунку на 1 м³ очищеного пального, витрата електроенергії складає приблизно 1.10⁻⁴ кВт.ч.

Таке низьке енергоспоживання електричними очищувачами пояснюється тим, що витрата енергії в основному йде на переміщення тільки частинок забруднень. У відцентровому ж очищувачі розкручується уся маса очищуваної рідини.

До недоліків електричних очищувачів слід віднести високу робочу напругу електричного току, що обумовлено особливою технологією їхньої експлуатації і високою кваліфікацією обслуговуючого персоналу.

Вивчаючи матеріал цього розділу, варто звернути увагу на такі факти, що:

довговічність роботи агрегатів і надійність роботи паливної, масляної і гідравлічної систем авіаційної техніки багато в чому залежить від наявності забруднень у рідинах, а безвідмовність роботи цих систем істотно впливає на безпеку польотів;

одержання чистих рідин пов'язано з великими витратами матеріальних засобів;

наука і практика показали доцільність застосування визначеної технології наземної фільтрації авіаційних ПММ, проте техніка і технологія очистки рідин може бути будь-якою, аби вона задовольняла економічній доцільності і надійності роботи агрегатів гідросистем.

Особливо актуальною є проблема очистки палива, мастильних матеріалів і робочих рідин гідравлічних систем у космічній, ракетній й авіаційній техніці, оскільки пов'язана з забезпеченням надійності роботи гідравлічної апаратури.