

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний авіаційний університет

Дінь Тан Хинг

УДК 621.892:628.543.15 /088.8/

МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ  
РОБОЧИХ РІДИН ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ  
АВІАЦІЙНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОМПЛЕКСІВ  
В КВАЗІПОСТІЙНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор  
**Гаража Валентин Васильович**  
Національний авіаційний університет  
кафедра конструкції літальних апаратів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Бойченко Сергій Валерійович**  
Національний авіаційний університет  
завідувач кафедри авіацінопаливного  
забезпечення та хімотології

кандидат технічних наук  
**Вернигора Володимир Олександрович**  
Державний науково-дослідний інститут  
будівельного виробництва  
провідний науковий співробітник

Захист відбудеться “16” грудня 2010 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.03 в Національному авіаційному університеті за адресою : 03680, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1 ауд. 002

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03680, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розіслано “5” листопада 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 26.062.03,  
доктор технічних наук, професор

Павлова С.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На частку рідинних енергетичних систем повітряних суден (ПС) припадає до 50%.....60% відмов авіаційної техніки. Це в першу чергу пов'язано з використанням палив, олив і спеціальних рідин, які не в повній мірі відповідають вимогам ДСТУ ГОСТ 17216-2004, який визначає ступінь конструктивної досконалості робочих рідин функціональних систем ПС. Від ступня конструктивної досконалості робочих рідин, гідравлічних олив в першу чергу, залежить довговічність, надійність і безпечна експлуатація авіаційних транспортних комплексів.

Застосування палив і олив, що не відповідають в повній мірі вимогам до чистоти за вмістом механічних забруднень та емульсійної води, викликає зростання ремонтних та експлуатаційних витрат, які в окремих випадках можуть досягати обсягів, що відповідають вартості нової авіаційної техніки.

Відомо, що до 90% відмов авіаційної техніки від загальної кількості є відмовами гідравлічних систем ПС. Використання гідравлічних і моторних олив з недостатнім класом чистоти викликає значне зростання експлуатаційних витрат авіаційних компаній і підприємств. Від забезпечення чистоти робочих рідин енергетичних систем ПС залежать також проблеми охорони навколишнього середовища і збереження паливно-енергетичних ресурсів.

Аналіз раніш проведених досліджень показав, що очистка робочих рідин функціональних систем ПС в авіаційній промисловості, а також під час експлуатації ПС забезпечують завдяки системам механічної фільтрації, які базуються на використанні спеціальних пористих матеріалів. Зростання товщини фільтрації беззаперечно призводить до підвищення вартості фільтраційного матеріалу, яка вже при товщині фільтрації в 5 мкм зростає в 15 разів із розрахунку вартості 1м<sup>2</sup> фільтраційного матеріалу.

У рішенні проблем забезпечення надійності і ресурсу ПС першорядне значення мають удосконалення існуючих і розробка нових методів та засобів очищення палив авіаційних олив.

Одним із перспективних методів вирішення завдання щодо забезпечення чистоти авіаційних паливно-масляних матеріалів (авіаПММ) є електронна обробка матеріалів. Практична цілеспрямованість використання методів електронної обробки матеріалів підтверджена в першу чергу застосуванням таких технологій в процесі виробництва та використання авіаційних палив, олив і світлих нафтопродуктів.

Використання енергетичних методів і електричних полів дозволяє на якісно новому рівні вирішувати завдання сепарації і розподілу багатоконпонентних систем на фракції за розмірами, а також для тонкого очищення діелектричних середовищ від механічних забруднень та емульсійної води.

В даний час у світовій практиці знаходять широке використання методу і технологічні процеси, в яких застосовують енергетичні поля і квазіпостійне електричне поле як часткове явище для очищення діелектричних рідин. Ці методи стають найбільш раціональними й економічно вигідними для фінішної

тонкої очистки, а розробка дослідження методів відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних систем ПС їх очищенням від механічних домішок в електричному полі для фінішної надтонкої очистки робочих рідин ПС є актуальним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами.** Робота є ініціативною і одночасно складовою частиною досліджень, які проводяться в Національному авіаційному університеті та спрямовані на забезпечення промислової чистоти робочих рідин енергетичних функціональних систем ПС. Робота виконувалася в руслі Державної програми розвитку авіаційного транспорту України на період до 2010р., розробленої відповідно до Указу Президента України від 27 вересня 2000р. «Про стан авіаційного транспорту та авіаційної промисловості».

Дисертаційне дослідження тісно пов'язане з науково-дослідними роботами № 236-ДБ05 «Закономірності тепломасообмінних процесів у паливних системах повітряних суден в умовах експлуатації» №500-ДБ08 «Наукове обґрунтування видалення вологи з баків кесонів методом теплообміну», які виконувалися згідно з тематичними планами НДР Міністерства освіти й науки України.

**Мета й завдання дослідження.** Метою дослідження є розробка методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних енергетичних систем у квазіпостійному електричному полі та розробка практичних рекомендацій для реалізації даного методу.

Досягнення мети дослідження зумовлено вирішенням таких завдань:

1. Розробка експериментального устаткування для дослідження впливу керуючих параметрів на ефективність відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних систем ПС, методу та програми випробувань, одержання, обробка і аналіз результатів досліджень;
2. Розробка моделі та методу аналітичного розрахунку відновлення експлуатаційних якостей за вмістом механічних домішок робочих рідин функціональних систем ПС в квазіпостійному електричному полі;
3. Розробка практичних рекомендацій до втілення методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин ПС в квазіпостійному електричному полі.

**Об'єктом досліджень** є метод відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин ПС в квазіпостійному електричному полі.

**Предмет досліджень** – визначення ефективності відновлення експлуатаційних якостей авіаПММ за вмістом механічних домішок методом їх обробки в квазіпостійному електричному полі.

**Методи досліджень.** Аналітичні дослідження проведені з використанням основоположних фізичних процесів руйнування суспензій та емульсій в квазіпостійному електричному полі. Експериментальна частина досліджень виконана на спеціально створеному дослідному обладнанні з використанням сучасних фізичних методів досліджень та вимірно-контрольної апаратури.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Розроблено новий метод фінішного тонкого очищення діелектричних рідин в міжелектродному просторі матричної системи неізолюваних електродів з наповнювачем,

поляризаційні якості якого практично зберігаються і в умовах багатокомпонентної системи робочої зони квазіпостійного електричного поля електроочищувача (ЕО).

Вперше доведено, що в умовах багатокомпонентної системи робочої зони неізолюваних електродів превалює взаємодія електричних часток механічних забруднень з електричним полем поляризаційного наповнювача.

Аналітичне оцінювання ефективності метода відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин енергетичних авіаційних систем дозволяє прогнозувати межу варіювання управляючих параметрів залежно від заданої тонкості очищення.

Експериментальні дослідження підтвердили наявність управляючих параметрів і ступінь їх впливу на ефективність фінішної очистки неполярних діелектричних рідин середовищ ЕО, принцип дії якого обумовлено взаємодією поляризованих часток забруднень з поляризованими в електричному полі волокнами наповнювача.

Лабораторні дослідження розробленого методу до експериментальної оцінки впливу управляючих чинників на фінішне очищення авіаційної гідравлічної оливи «Гідро-Нікоіль», авіаційної оливи «Турбо-Нікоіль», авіаційного палива ТС-1, трансформаторної оливи показали, що ефективність методу тонкого очищення цих рідин в 5,68 разів вища за ефективність механічних фільтрів фірми «Палл», а зниження кількості часток забруднень у 60 разів перевищує кращі поліпропіленові фільтри Р200.

**Практичне значення отриманих результатів** дисертаційної роботи полягає в розробці високоєфективного методу електричної обробки авіаційних олив, палив, трансформаторних олив та інших діелектричних рідин для руйнування високодисперсних сильно розведених суспензій з метою забезпечення 3 класу чистоти робочих рідин енергетичних систем ПС відповідно до ДСТУ ГОСТ 17216-2004, SAE и NAS.

Це дає змогу збільшити ресурс більш ніж у 6 разів і довговічність вузлів і агрегатів функціональних енергетичних систем та забезпечити підвищення безпеки польотів повітряних суден.

Практичне впровадження розробленого методу фінішної тонкої очистки діелектричних рідин в квазіпостійному електричному полі поляризаційного електроочисника зумовлено:

- малими енерговитратами на електронну обробку, яка дорівнює не більше 200 ват на один метр кубічний очищеної робочої рідини;
- можливість впровадження розробленого методу в технологічні процеси з безперервним циклом роботи;
- застосуванням неізолюваних плоских електродів, що дозволяє зробити практично необмеженим ресурс електрофільтропакету і значно розширює межі застосування розробленого методу.

Аналітичне рівняння оцінки ефективності застосування електроочистки дозволяє прогнозувати проектні параметри процесу, а отримані експериментальні дані дозволяють знаходити та уточнювати межу знаходження найкращих сполучень управляючих параметрів процесу фінішної

очистки робочих рідин функціональних систем в квазіпостійному електричному полі ЕО.

Запропонована типова класифікація електроочисників за конструктивними ознаками визначає коло завдань, які можуть бути вирішені за допомогою конкретного типу зразка ЕО для забезпечення фінішної тонкої очистки робочих рідин функціональних систем транспортних комплексів.

**Впровадження** та пропозиції щодо використання отриманих результатів дисертаційної роботи. Результати дисертаційної роботи можуть бути впроваджені:

- у виробництві повітряних суден (ПС) для електроочищення промивальних рідин у процесі стендових випробувань агрегатів, підсистем і функціональних систем літаків та авіаційних двигунів;

- під час експлуатації і застосування ПС для відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин – енергетичних функціональних систем відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 17216-2004, SAE и NAS;

- у виробничих процесах відновлення ПС для електроочищення миючих рідин від механічних забруднень та емульсійної води, які використовуються для промивки функціональних систем та їх агрегатів;

- у виробництві світлих нафтопродуктів, регенерації трансформаторних олів в умовах експлуатації, доведення експлуатаційних якостей мінеральних олів, палив до вимог ДСТУ ГОСТ 17216-2004 , SAE и NAS на складах ПММ, нафтобазах та заправних станціях (АЗС).

**Особистий внесок здобувача** полягає в отриманні наукових та практичних результатів із розробки методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин ПС.

Результати дисертаційної роботи отримані у процесі розвитку наукового напрямку, який розробляється на кафедрі «Конструкції літальних апаратів» науковими співробітниками з числа професорсько-викладацького складу під керівництвом наукового керівника аспіранта – кандидата технічних наук, професора Гаражі В.В. Здобувачем самостійно проведено:

- порівняльний аналіз очищення мінеральних олів механічними фільтрами і електроочищувачами, обґрунтовано та розроблено класифікацію ЕО за призначенням і конструктивними чинниками;

- аналіз руху одиночної частки під дією зовнішніх сил на поверхню волокон наповнювача для отримання рівняння ефективності роботи електроочищувача і перевірки адекватності рівняння ефективності процесу електроочистки при варіюванні керуючих параметрів;

- конструктивні розробки, гідравлічної схеми установки, розробку варіантів підключення її до об'єктів випробування, аналіз отриманих результатів досліджень;

- порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень, адекватності рівняння оцінки ефективності роботи електроочисника дослідним даним.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційних досліджень доповідались і отримали позитивну оцінку на засіданнях кафедри конструкції літальних апаратів Національного авіаційного університету (2005-2010, Київ), Міжнародній науково-технічній конференції «Авіа-2006»,

Міжнародній науково-технічній конференції «Авіа-2007», Міжнародній науково-технічній конференції «Авіа-2008», Міжнародній науково-технічній конференції «Авіа-2009», Київ.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 5 друкованих праць, у тому числі 3 статті в наукових фахових виданнях. Публікації повністю відображають наведені в роботі наукові результати досліджень.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (157 найменувань), додатків, містить 59 рисунків, 12 таблиць, викладена на 169 сторінках. Обсяг основного тексту 147 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі сформульовано тему роботи, обґрунтовано її актуальність, подано завдання дослідження, відображено наукову новизну і практичне значення отриманих у дисертації результатів, наведено загальну характеристику роботи.

У першому розділі проведено аналіз причин виникнення і утворення суспензій та емульсій стосовно умов транспортування, зберігання і застосування авіаційних моторних, гідравлічних олиव і рідин функціональних систем ПС. Розглянуто вплив механічних забруднень і води на роботу прецизійних розподільчих гідравлічних пристроїв і агрегатів функціональних систем ПС. Проаналізовано вимоги до очистки робочих рідин, наведено порівняльну оцінку існуючих засобів і методів очищення робочих рідин від механічних забруднень. Механічні домішки, які вносяться у процесі експлуатації ПС досягають 20% і генеруються в робочих рідинах під час роботи гідросистем. Основна маса забруднень, до 60%, вноситься в гідравлічні системи ПС під час монтажу, складання і їх виробництва.

Перспективність методу відновлення експлуатаційних якостей після фінішної тонкої очистки в застосуванні не лише до робочих рідин функціональних систем ПС, але і для руйнування малоконцентрованих тонкодисперсних суспензій та емульсій на базі світлих нафтопродуктів.

Відсутність класифікації засобів електроочищення не дозволяє проводити конструктивний аналіз під час розробки ефективних технологій електроочищення стосовно рішення багатофункціональних завдань та забезпечення нормованого рівня чистоти робочих рідин функціональних систем ПС відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 17216-2004, SAE и NAS.

У першому наближенні для електроочищувачів (ЕО) розроблено типову класифікацію і класифікацію за конструктивними ознаками. Запропонована типова класифікація припускає, що ЕО за електроживленням поділяються на ЕО постійного, змінного і комбінованого струму живлення, забезпечуючи електроочищення в електричному полі з поділом на стаціонарні та мобільні зразки.

Типова класифікація передбачає також поділ ЕО за призначенням, за фізичним процесом, що лежить в основі принципу його роботи. Такий розподіл має достатньо умовний характер, тому що будь-якому з переважних може мати місце ще один або кілька із розглянутих процесів одноразово.

Такий підхід виправданий, тому що залежно від призначення галузь застосування і конструктивне оформлення ЕО істотно змінюються.

Максимальна забрудненість авіаційних гідросистем досягає концентрації  $170 \text{ г/м}^3$ , а авіаційних палив  $7 \text{ г/м}^3$  відповідно.

Гранулометричний склад забруднень, що залишається після складання і монтажу вузлів та агрегатів знаходиться в межах від  $0,5 \text{ мкм}$  до  $200 \text{ мкм}$ , а  $98 \%$  від загального числа часток, належать часкам до  $15 \text{ мкм}$ . Найбільшу небезпеку для зростання відмов у системах дистанційного керування та паливнорегулюючій апаратурі ПС мають частки забруднень, які сумірні з зазором в плунжерних парах, тому що викликають інтенсивний знос у гідравлічних насосах і гідромоторах.

Показано, що механічні фільтри практично досягли межі своїх можливостей, а перспективними є досить нові технології і методи – електроочищення, які з підвищенням тонкості фільтрації перевершують за якісним і кількісним показниками існуючі методи та технології, які використовують під час виробництва і застосування ПММ.

Аналіз методів і засобів очищення діелектричних рідин від механічних забруднень і вільної води показав, що для цих цілей використовують сітчасті та пористі матеріали, або застосовують силові поля: гравітаційне, відцентрове, магнітне, електричне, а також використовують їх комбінації.

Аналіз існуючих енергетичних методів для рішення конкретних прикладних завдань, що забезпечують чистоти робочих рідин під час виробництва і застосування авіаційних олив, палив, спецрідин показав, що найбільш ефективним є метод очищення в квазіпостійному електричному полі ЕО.

Порівняльний аналіз механічного фільтру фірми «ПАЛЛІ» і електроочисника свідчить, що останній має не тільки більш високі кількісні показники, а й більш високу якість очищення. Так коефіцієнт очищення для часток забруднень розміром  $1 \text{ мкм}$  в  $1,6$  рази вищий, ніж у поліпропіленових фільтрів W1.

Відповідно до розробленої класифікації для реалізації методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних енергетичних систем слід розглянути поляризаційний тип ЕО з використанням системи електродів площина – сітчастий електрод у варіанті гофрованої конфігурації з розміщенням в міжелектродному просторі поляризаційного наповнювача.

Використання такої системи конструктивних рішень дозволить загальний потік очищеного продукту поділити на ряд плоских течій, а ниткоподібний наповнювач забезпечує створення структури неоднорідного електричного поля з поверхнею осадження для часток забруднень. Крім того, поляризаційний наповнювач забезпечить ламінацію потоку та вирівняє поле швидкостей в межах перетину плоских каналів зони електроочищення.

Аналіз фізичних основ – процесу руйнування суспензій та емульсій в квазіпостійному електричному полі дозволить поділити його на три етапи: зарядку часток механічних домішок; рух заряджених часток в зону осадження; осадження і утримання часток дисперсної фази суспензій на поверхні



осадження і виведення механічних домішок із зони фільтрації в зону утилізації.

Аналіз процесів, що виникають під час електронної обробки діелектричних рідин, які вміщують механічні домішки, показав, що на дисперсну систему суспензії і емульсії можуть діяти такі явища: електрофорез, який для неполярних середовищ (авіаційних палив, олив і спецрідин) є явищем малоймовірним і може мати місце лише за рахунок індуктивної зарядки часток під час контакту з неізолюваним електродом; дипольфорез, який виникає під час поляризації подвійного електричного шару часток і діелектрофорез, що виникає за рахунок поляризації матеріалу часток дисперсної фази суспензій та емульсій, має місце в поляризаційних ЕО, в яких діелектрофоретичні явища розвиваються за рахунок поляризації часток забруднень та наповнювача. Пол Г. показав, що діелектричний рух дисперсної фази забруднень не залежить від напрямку поля. Для діелектрофорезу необхідний високий рівень неоднорідності електричного поля з одного боку і значної різниці діелектричного проникнення часток і дисперсійного середовища.

Сила, що діє в неоднорідному електричному полі на шар – диполь, за рахунок якої виникає рух в область найбільшої напруженості, розраховується як:

$$\vec{F}_3 = q\vec{E} + \vec{P}\text{grad}\vec{E}, \quad (1)$$

де  $q$  – вільний заряд;  $\vec{E}$  – вектор напруженості електричного поля;  $\vec{P}$  – вектор електричного моменту частки (диполя).

Якщо  $q = 0$ , то формула (1) трансформується :

$$\vec{F}_n = 4\pi\epsilon_0\epsilon_{ж} \frac{\epsilon_{ч} - \epsilon_{ж}}{\epsilon_{ч} + 2\epsilon_{ж}} R^3 \vec{E}\text{grad}\vec{E}. \quad (2)$$

Гradient  $\text{grad}\vec{E}$  в (2) показує, що напрям дії сили  $\vec{F}_n$  однаковий і залежить від напрямку вектора електричного поля.

Аналіз формули (2) показує, що прогнозувати зростання ефективності роботи ЕО з поляризаційним наповнювачем можливо за рахунок: розміщення поляризаційного наповнювача з дискретним зростанням діелектричного проникнення по довжини електрофільтропакета; виконання багатоступеневого електорофільтропакету, з автономним підводом живлення електроструму на кожний ступінь; використання поляризаційного волокнистого ниткоподібного наповнювача з капілярними каналами.

Рекомендація з використанням ниткоподібного наповнювача має рацію тому, що дає можливість отримати більш розвинуту поверхню осадження з більш високим ступенем неоднорідності структури квазіпостійного електричного поля.

Теоретичне обґрунтування явищ діелектрофорезу виконано в працях Пола Г., Абрахіма М., Духіна С.С., Дейнеги Ю.Ф. та інших вчених, які вважають, що діелектричні явища обумовлені різницею діелектричних якостей середовища і дисперсної фази суспензій та емульсій. Експериментальні дослідження цих питань мають місце в роботах Черненко Ж.С., Чиркова С.В., Гаражі В.В., Кривченка В.І. та інших.

У висновку першого розділу на підставі наведеного аналізу стану питання забезпечення чистоти робочих рідин функціональних систем метою цієї роботи є розробка метода відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних енергетичних систем в квазіпостійному електричному полі.

У **другому розділі** наведено основні дисперсні середовища, на базі яких досліджувався процес руйнування суспензій у квазіпостійному електричному полі. Як мінеральні дисперсні середовища використані: гідравлічна олива «Гідро-Нікоіль» (HYDRAUNYCOIL FH 6 AW BMS 3-32 Type I); авіаційна гідравлічна олива АМГ-10 ГОСТ 6794-75; трансформаторна олива ГОСТ 982-68; а як синтетичну рідину взято оливу «Турбо-Нікоіль» (TURBONYCOIL 600).

Забезпечення високої точності й достовірності отриманих результатів під час оцінки вмісту механічних забруднень у суспензіях та емульсіях забезпечувалася використанням фотометричного аналізатора ФС-151А, ПКЖ-904А та мікроскопічним аналізом на мікроскопі ММР-4 грануметричного складу дисперсної фази.

Наведено опис спеціально розробленої експериментальної установки для дослідження процесу руйнування суспензій та емульсій. Побудовано установку за модульним принципом відповідно до функціональної блок-схеми. В установку входить блок приготування суспензій досліджуваного рівня забруднення і дисперсності, модуль досліджуваних зразків камерних ячеек ЕО, модульний елемент досліджуваного зразка ЕО з волокнистим ниткоподібним поляризаційним наповнювачем із вовняної пряжі. Модулі за допомогою комутаційних зв'язків об'єднані в загальний стенд, принципова схема якого показана на рис. 1. Експериментальна установка дає змогу працювати за рециркуляційною схемою (однобаковою) під час дослідження зразків камерних комірок ЕО. Розглянуто п'ять найбільш вдалих конструктивних рішень побудови електрооочисних пакетів для електроочищувачів (рис. 2). Розроблено і виготовлено конструктивний варіант системи електродів для використання в конструкції ЕО: система неізолюваний площина-ромбовидний сітчастий електроди (рис. 3) з розміщенням у міжелектродному просторі поляризаційного наповнювача.

Для знаходження оптимальних режимів обробки суспензій у квазіпостійному електричному полі і вибору поляризаційного наповнювача на рис.3 показано модульну камеру комірку ЕО для дослідження процесу руйнування суспензій. Наведено технічні характеристики досліджених поляризаційних наповнювачів: капронового волокна ТУ 606.С155-85; щетини ГОСТ 28637-90; ниток чистововняної пряжі відповідно до ГОСТ 17511-83.

Модульна комірка ЕО (рис. 4) виконана з прозорого органічного скла, всередині корпусу прямокутного перерізу розташовано два позитивні неізолювані плоскі електроди, зазор між позитивним та вершинами ромбоподібного електроду забезпечено втулками. Поляризаційний наповнювач розміщується в комірках трикутного перерізу, що формуються між сітчастим гофрованим неізолюваним електродом і плоскими електродами.

Рис. 1. Принципова схема експериментальної установки

1 – бак видатковий; 2, 17 – електро-відцентровий насос; 3 – дозатор; 4, 6, 7 – електро-магнітний клапан; 5 – кран відбору проб; 8, 10 – манометр зразковий; 9, 13 – дросельний кран; 11 – еталонний ЕО; 12 – експериментальний ЕО; 14 – аналізатор мех. домішок; 15 – бак проміжний; 16 – витратомір; 18 – витратомір; 19 – термометр

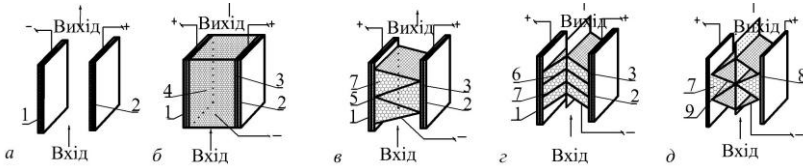
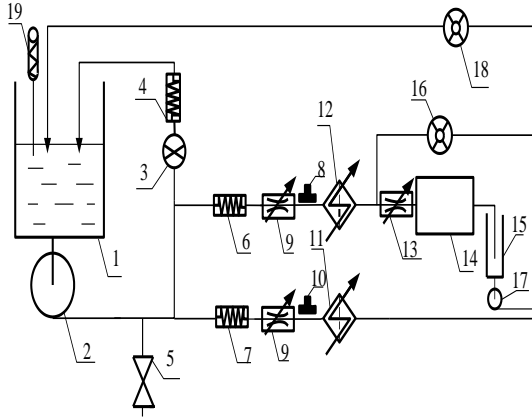
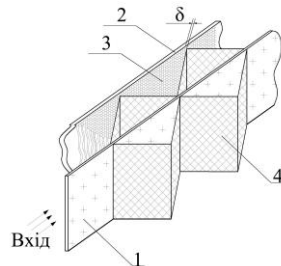


Рис. 2. Конструктивні схеми варіантів електродів ЕО

*a* – з електродами, паралельними потоку рідини; *б* – те ж, що в *a*, але з пористим наповнювачем між електродами; *в*, *г* і *д* – з сітчастими електродами, орієнтованими під кутом до потоку очищуваної рідини і плоскими ізолюваними електродами, простір між якими заповнено поляризаційним наповнювачем; 1, 2 – плоскі ізолювані електроди; 3 – ізоляційне покриття електродів; 4 – пористий діелектричний матеріал наповнювача; 5 – негативний гофрований сітчастий електрод; 6 – негативний сітчастий електрод типу «ялинка»; 7 – поляризаційний наповнювач; 8 – плоскі неізолювані електроди; 9 – негативний ромбоподібний сітчастий електрод

Рис. 3. Конструктивна схема розробленої системи електродів модульного елемента ЕО:

1 – опорний елемент для кріплення сітчастих гофрів, формують ромбоподібну форму сітчастих електродів; 2 – плоский неізолюваний електрод; 3 – волокнистий наповнювач з ниток чисто вовняної пряжі; 4 – ромбоподібний сітчастий електрод (до складу одного сітчастого ромбоподібного електрода входить два сітчасті гофри, з вершинами, зафіксованими на опорному елементі)



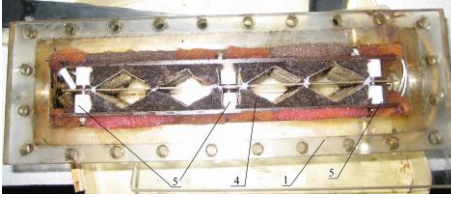


Рис. 4. Модульний елемент у зібраному вигляді:  
1 – корпус прозорого органічного скла; 2 – плоский неізолюваний електрод; 3 – ромбоподібний сітчастий електрод; 4 – поляризаційний наповнювач; 5 – втулки

Описано конструкцію лабораторного зразка експериментального ЕО з поляризаційним наповнювачем модульного принципу побудови, конструктивну схему електродного фільтропакета якого показано на рис. 5. Відмінною особливістю ЕО є горизонтальна орієнтація електродного фільтропакета в його корпусі, що дало змогу сформувати в ЕО відстійну зону, яка забезпечує відвід осадженої на волокнах наповнювача дисперсної фази і видалення її з “зони фільтрації” з подальшим видаленням, утилізацією забруднень з відстійника. Наводяться гідравлічні характеристики лабораторного зразка ЕО.

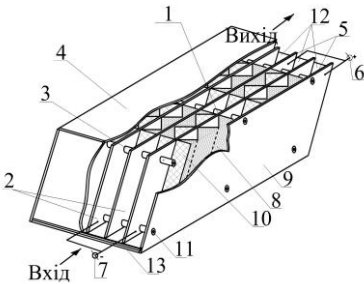


Рис.5. Електродний фільтропакет  
1 - сітчастий ромбоподібний негативний електрод; 2 - модульні елементи; 3—діелектрична розпірна втулка; 4 , 9 – відповідно верхня та бокова кришки; 5 - плоский позитивний електрод; 6 ,7 - шина електроживлення; 8 - поляризаційний волокнистий наповнювач; 10 - негативний ромбоподібний сітчастий електрод; 11 - стяжна шпилька; 12-вихідний направляючий апарат; 13 – нижня частина фільтропакета

Для проведення досліджень спеціально розроблено шість методик: методику складання і підготовки експериментальної установки до роботи; методику підготовки модульного зразка електроочисника до проведення досліджень; методику приготування суспензій; методику оцінки вмісту дисперсної фази забруднень в суспензіях на базі оливо; методику визначення впливу, режимів обробки суспензій в квазіпостійному електричному полі ЕО на ефективність їх руйнування; методику обробки результатів експериментальних досліджень.

У висновку другого розділу методами теорії похибок виконано оцінку помилки відтворення паралельних експериментів, а також розроблено структурну схему і обґрунтовано програму досліджень.

У **третьому розділі** виконано аналіз теоретичних і експериментальних досліджень процесу міграції і осадження частинок дисперсної фази суспензій в неполярному дисперсійному середовищі на поверхню ниткоподібного

поляризаційного наповнювача. Проведено аналіз факторів, який дає змогу виявити управляючі параметри процесу руйнування й видалення дисперсної фази суспензій із олів і спеєрідин, що очищаються.

Процес міграції і осадження дисперсної фази забруднень на поверхню ниткоподібного поляризаційного наповнювача під дією квазіпостійного електричного поля досліджувався на спеціальній камерній комірки з органічного скла. Дисперсним середовищем служили гідравлічна олива «Гідро-Нікоіль» (HYDRAUNYCOIL FH 6 AW BMS 3-32 Type I), а дисперсною фазою – частинки механічних забруднень. Явища, які виникають у матричній системі волокон, що заповнює міжелектродний простір модульного елемента комірки ЕО, вивчалися візуально за допомогою мікроскопа МБС-2 і фіксацією їх фотозйомкою.

Матрична система розглядалась у вигляді рівномірно розподіленого в рідинному діелектричному неполярному середовищі циліндричних волокон – ниток, осі яких розміщені перпендикулярно вектору напруженості квазіпостійного електричного поля  $\vec{E}$ . На підставі припущення, що відношення діелектричних проникань  $\epsilon_n/\epsilon_{ж}$  і відношення їх питомих електричних провідностей сумірні, отримана формула для оцінки напруженості електричного поля  $\vec{E}$ . Напруженість поля на поверхні поляризованого волокна в рідкому діелектрику може бути визначена (наприклад, у точках А чи В) за виразом:

$$E_{A,B} = E_0 \frac{2\epsilon_{ж}}{\epsilon_n + \epsilon_{ж} + \alpha(\epsilon_n - \epsilon_{ж})}, \quad (3)$$

де  $\alpha = \pi \frac{a^2}{b^2}$  – об'ємний вміст волокон у матричній системі;  $a$  – радіус

циліндра (волокна);  $b$  – відстань між осями сусідніх волокон;  $\epsilon_n$  і  $\epsilon_{ж}$  – діелектричні проникання волокон наповнювача і рідкого середовища відповідно;  $E_0$  – напруженість зовнішнього електричного поля.

Із формули (3) випливає, що напруженість квазіпостійного електричного поля  $E_{A,B}$  залежить від співвідношення діелектричних проникань середовища і поляризаційного наповнювача, а також від  $\alpha$  – щільності розміщення волокон наповнювача в середовищі.

Аналіз відповідних співвідношень  $\epsilon_n/\epsilon_{ж}$  і  $\alpha$  свідчить, що напруженість  $\vec{E}$  може в 2 – 3 рази перевищувати напруженість зовнішнього електричного поля  $E_0$ . Враховуючи фактори  $\epsilon_n$ ,  $\epsilon_{ж}$  і  $\alpha$ , можна припустити, що між волокнами наповнювача і частинками дисперсної фази забруднень домінують ефекти дипольної взаємодії.

Спостереження і мікрофотознімання підтвердили припущення про те, що зонами переважного осадження дисперсної водної фази на волокнах наповнювача є поляризовані області, де напруженість електричного поля  $E_{A,B}$  буде перевищувати початкову  $E_0$ .

Отримано рівняння руху частки дисперсної фази в діелектричному дисперсному середовищі під дією зовнішнього електричного поля на основі аналізу якого розглядався процес відокремлення дисперсної фази суспензій.

Рух частки забруднень уявлявся як переміщення зваженої в оливі частинки сферичної форми під дією прикладених до неї зовнішніх сил.

Рівняння руху частинки забруднень знайдено відповідно до аналізу балансу сил, що діють на частинку в рухливому в'язкому середовищі:

$$m_{\text{ч}} \frac{d\vec{V}_{\text{ч}}}{d\tau} = \sum \vec{F} - 6\pi\mu r_{\text{ч}} (\vec{V}_{\text{ч}} - \vec{V}_0), \quad (4)$$

де  $\vec{V}_{\text{ч}}$  – вектор швидкості частки забруднень;  $m_{\text{ч}}$  – її маса;  $r_{\text{ч}}$  – радіус частки забруднень;  $\vec{V}_0$  – вектор швидкості руху оливи в ЕО;  $\mu$  – динамічна в'язкість оливи;  $\sum \vec{F}$  – сума зовнішніх сил, які діють на частки і  $\tau$  – час.

Наведено вирази для оцінки величини сил, що діють на частинку в каналах – комірках, сформованих з волокон поляризаційного наповнювача.

Аналіз робіт А. Кірша, К. Нола дозволив установити, що на базі превалюючого поляризаційного ефекту можливо отримати інтегральну оцінку, в основу якої покладено аналітичне рівняння методу відновлення ефективності роботи ЕО. Теоретичні дослідження дали змогу визначити величину коефіцієнта осадження  $\psi^*$  для одиночного волокна, а інтегральна оцінка ефективності видалення дисперсної фази суспензій для електродноочищувального пакета ЕО дозволяє отримати формулу:

$$\psi = 1 - e^{-\psi^* S_{\text{н}}}, \quad (5)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт очистки;  $S_{\text{н}}$  – ефективна площа перерізу волокнистого наповнювача, який характеризує поверхню осадження. На базі формули (5) для коефіцієнта очистки отримано стаціонарне рівняння оцінки методу відновлення і ефективності роботи ЕО з поляризаційним наповнювачем.

Розглядаючи зону очищення як камерну (пористу) структуру, можна довести, що зміна концентрації дисперсної фази суспензій  $d\delta_1$  на ділянці  $-dL$  пропорційна їх концентрації на вході  $\delta_0$ , числу камер (пор) в одиниці об'єму  $n_{\text{к}}$  і ефективній площі перерізу камери  $S_{\text{еф}}$  (ефективній площі захвату частинок дисперсної фази суспензії):

$$d\delta_1 = -\delta_0 n_{\text{к}} S_{\text{еф}} dL. \quad (6)$$

Після інтегрування даної формули (6) і переходу до коефіцієнта очистки отримано в загальному вигляді рівняння ефективності методу і роботи ЕО:

$$\psi_{\text{к}} = \frac{\delta_0 - \delta_1}{\delta_0} = 1 - e^{-n_{\text{к}} S_{\text{еф}} L}, \quad (7)$$

де  $n_{\text{к}}$  – число камер (пор) волокон в одиниці об'єму ЕО.

Ефективну площу перерізу камери  $S_{\text{еф}}$  знайдено за умови, що зони захвату формуються в зоні точок контакту сусідніх волокон, де утворюються циліндричні поверхні еквівалентного радіуса  $r_0$  (рис. 6). Стаціонарне рівняння ефективності роботи ЕО отримано на підставі упаковок ромбоподібного вигляду камер:

$$\psi_{\text{ЭО}} = 1 - e^{-8,4\alpha_{\text{н}} \frac{L^2}{R^3}}, \quad (8)$$

Аналіз стаціонарного рівняння ефективності роботи ЕО з поляризаційним наповнювачем свідчить про залежність її від щільності упаковки волокон  $\alpha_n$ , відношення  $r_s/R$  – радіуса захвату до радіуса волокна, довжини волокон  $L$  і величини  $R$  – радіуса волокон наповнювача. Коефіцієнт очистки  $\psi$  буде зростати зі збільшенням довжини електрофільтропакету ЕО  $L$  і зменшенням  $2R$  – діаметра волокон поляризаційного наповнювача.

Аналіз результату даного дослідження показав, що основними позитивними факторами, які впливають на ефективність методу відновлення і роботи ЕО з поляризаційним наповнювачем є такі: електричні параметри – напруженість і неоднорідність розподілу електричного поля в міжелектродному просторі; конструктивні параметри, які визначають співвідношення розмірів його окремих елементів, тип і властивості поляризаційного наповнювача; експлуатаційні характеристики, до яких відносять питому подачу очищувальної рідини, швидкість і режим обробки рідини в електричному полі ЕО; фізико-механічні параметри очищувальної рідини: тип (органічна чи синтетична), в'язкість, щільність, діелектрична проникливість; параметри дисперсної фази, які характеризують вид речовини, гранулометричний склад, форму і концентрацію частинок у дисперсному середовищі та інше; скорочення довжини шляху міграції краплинок-частинок за рахунок розподілу потоку на ряд тонкошарових течій.

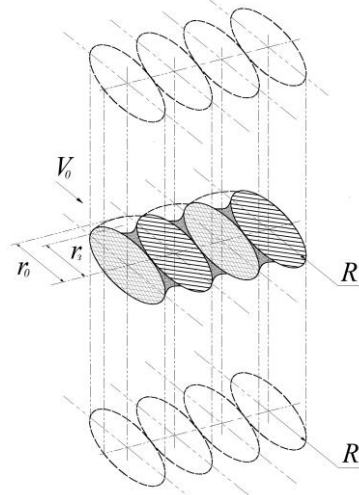


Рис. 6. Зони осадження частинки

Рівняння оцінки ефективності методу відновлення (8) дає змогу визначити коефіцієнт очистки  $\psi$  в широких діапазонах варіювання параметрів, які характеризують процес руйнування суспензій, але безпосереднє використання формули (8) для розрахунку  $\psi_{\max}$  обмежено складністю знаходження сполучень і області варіювання цих параметрів. При цьому, формула (8) не враховує ряд процесів, що спостерігаються при руйнуванні суспензій та емульсій, і які впливають на ефективність методу відновлення і роботи ЕО: конгломерація часток дисперсної фази суспензій, що скоротить шлях осадження часток забруднень на поверхню волокон наповнювача, екрануючий ефект ромбоподібного сітчастого електроду, можливість підзарядки часток дисперсної фази в результаті контакту їх із неізолюваними електродами.

Для врахування названих чинників при оптимальному поєднанні параметрів, які характеризують високоефективне руйнування суспензій та емульсій методом електроочищення виконані експериментальні дослідження

варіюванням параметрів, які вибрані на базі математичного моделювання з використанням програмування на основі експериментальних даних. При цьому аналітичне описування роботи ЕО виконувалося сумісно з поліноміальним у вигляді рівняння регресії.

На підставі факторної оптимізації виявлено 16 основних факторів, які практично впливають на ефективність методу відновлення робочих рідин на базі ЕО.

На основі аналізу апріорної інформації залежно від змін функції відгуку було окреслено локальну область варіювання експериментальних досліджень. Локальну область варіювання задано основними рівнями й інтервалами варіювання факторів.

Виконано факторну оптимізацію параметрів методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин ФС. За параметри оптимізації прийнято коефіцієнт очистки  $\psi$  і питому подачу очищувальної рідини  $W_{уд}$ . Включено вісім факторів у план факторної оптимізації. Із них перепад тиску  $\Delta p$  і параметр  $\Pi = (\epsilon_n - \epsilon_{ж}) / (\epsilon_n + 2\epsilon_{ж})$  що характеризує матеріал поляризаційного наповнювача, розглядалися як комплексні фактори, які містять у собі співвідношення між одиничними факторами. Некомплексні фактори  $U$ ,  $2a$ ,  $\alpha$ ,  $\theta$ ,  $L$ ,  $H$ ,  $t^0$  фіксувалися на рівнях, виявлених у процесі факторного аналізу. Для побудови матриці планування було задіяно  $2^{8-4}$ , тобто 1/16 реплікою від повного факторного плану  $2^8$ . Методом крутого перевалу реалізовано другу репліку від  $2^{8-4}$ , що дозволило отримати матрицю планування для цієї репліки. Вплив систематичних помилок, зумовлених зовнішніми умовами, виключався постановкою паралельних дослідів, запланованих у кожній репліці  $2^{8-4}$ , за допомогою генератора випадкових чисел рандомізуванням у часі.

Знайдено майже стаціонарну область. Лінійна апроксимація функції відгуку після реалізації основної і зворотної до неї репліки методом “перевалу” і проведення регресивного аналізу отримано лінійну математичну модель оцінки ефективності методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних систем у квазіпостійному електричному полі:

$$\hat{y}_1 = 54 - 6,2x_1 + 10,45x_2 - 14,6x_3 + 9,2x_4 + 4,1x_5 + 3,0x_6 + 7,05x_7 + 14,45x_8, \quad (9)$$

Визначення майже стаціонарної області функції відгуку виконано методом крутого сходження за градієнтом, що дало змогу визначити найкращу єдність факторів для отримання значення  $\psi_{max}$ .

Після обробки результатів експериментів і розрахунку коефіцієнтів регресії отримано математичну модель першого порядку.

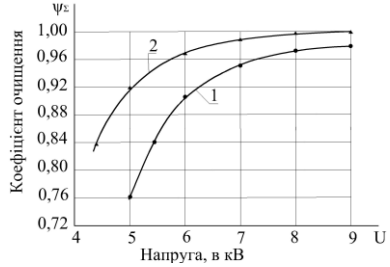
Математична модель оцінки ефективності методу відновлення експлуатаційних якостей і роботи поляризаційного ЕО описується поліномом першого порядку, показує направленість і ступінь впливу кожного з факторів на процес руйнування суспензій. Гіпотези, розглянуті у третьому розділі про направленість впливу факторів на ефективність методу відновлення і роботи ЕО підтверджуються експериментальними дослідженнями, а теоретично отримані значення  $\psi$  задовільно узгоджуються з даними експериментів (рис. 7).



Рис. 7. Зміна ефективності очищення  $\Psi$  від напруги на електродах  $U$  гідравлічне масло «Гідро-Нікоіль»:

$$c = 0,005 \text{ і } t^0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

1 – експериментальна залежність;  
2 – теоретична залежність, розрахована за формулою (8)



**У четвертому розділі** наведено аналіз результатів досліджень вибору оптимальних конструктивно-технологічних параметрів камерних комірок поляризаційного ЕО, на базі якого розроблено метод відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних систем ПС.

Аналіз п'яти систем конструктивних схем електродів, дозволив відібрати для експериментальної перевірки систему «площина – гофр» та «площина – ромбоподібний – сітчастий». Із волокнистих наповнювачів найкращим зразком поляризаційного наповнювача є нитки чистововняної пряжі, для яких характерні діелектричні властивості з виявленням трибоелектричного ефекту.

Волокнам вовни характерні гідрофобні властивості й одночасно з цим здатність поглинати вологу в капілярні канали, які мають ворсинки. Адсорбція води збільшує діелектричну проникливість вовни і забезпечує зберігання поляризаційного ефекту і в умовах обводненості діелектричних рідин.

Аналіз результатів досліджень систем електродів (рис. 8) свідчить, що для неізолюваних електродів «площина – ромбоподібний – сітчастий» з наповнювачем з ниток чистововняної пряжі досягається достатньо висока ефективність руйнування суспензій ( $\psi = 0,97$  крива 2 відповідно до  $U = 8$  кВ), але для системи з плоским ізолюваним і гофрованим сітчастим електродами (крива 1)  $\psi = 1,0$  коли  $U = 7$  кВ і більше. Темп очищення (кут нахилу кривих 1 і 2) вищий у системи з ізолюваним позитивним електродом. Для неізолюваних електродів максимум  $\psi\Sigma$  зміщується в область значень  $U \geq 8$  кВ. Система неізолюваних електродів дозволяє досягти тієї ж ефективності  $k = \Psi_i / \Psi_0$  що і для ізолюваних, але коли  $U \geq 8$  кВ (рис. 9).

Ефективність методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин авіаційних функціональних систем залежить від концентрації дисперсної фази суспензій та розміру часток забруднень. Коефіцієнт  $\psi\Sigma$  в 1,25 рази вищий. Зростання концентрації забруднень сприяє зростанню частоти зіткнень часток тому що зменшується відстань між частками дисперсної фази, їх укрупненню і більш скорому осадженню на поверхню поляризаційного наповнювача.

Аналіз результатів досліджень (рис.10 та 11) свідчить, що на ефективність метода відновлення експлуатаційних якостей рідин (руйнування суспензій) впливає гідродинамічний режим подачі, час обробки ПММ, електродному просторі системи електродів в квазіпостійному електричному полі, напруга на електродах  $U$  і зазор  $\delta$  між останніми.

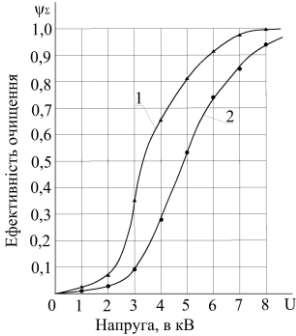


Рис. 8. Зміна ефективності очищення від напруги на електродах в маслі «Гідро-Нікоіль» при  $\Delta P = 0,2$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$ ,  $c = 0,005$ ,  $\delta = 1,5$  мм

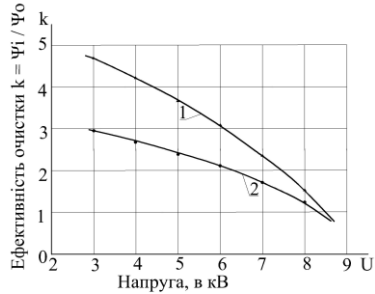


Рис. 9. Зміна ефективності очищення  $k = \Psi_i / \Psi_0$  від напруги на електродах (де  $\Psi_0$  – коефіцієнт очищення для плоских електродів із поляризаційним наповнювачем); 1 – для плоских ізоляованих і неізоляованого гофрованого сітчастого електродів; 2 – для плоских неізоляованих і ромбовидного сітчастого електродів

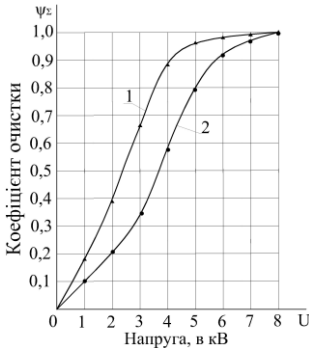


Рис. 10. Залежність коефіцієнта очищення від відносного вмісту дисперсної фази в маслі «Гідро-Нікоіль» при  $O = 3,0$  і  $t = 20^\circ\text{C}$ , крива 1 –  $c = 0,00154$ ; крива 2 –  $c = 0,00014$

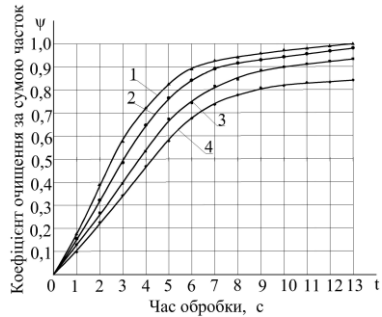


Рис. 11. Залежність коефіцієнта очищення від часу обробки суспензії в електричному полі ЕО для ряду значень напруги на електродах (оливо «Гідро-Нікоіль»).  $c = 0,0005$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$ ; 1 –  $U = 7\text{кВ}$ ; 2 –  $U = 6\text{кВ}$ ; 3 –  $U = 4\text{кВ}$ ; 4 –  $U = 3\text{кВ}$

Аналіз результатів вилу режимів течії в діапазоні  $\Delta p$  від 0,01 мПа до 0,04 мПа показав, що зі зростанням часу обробки  $t$  суспензій в квазіпостійному полі ефективності очистки оливи «Гідро-Нікоіль» зростає (рис.11) і коли  $t = 13$  с, а напруга  $U = 8$  кВ (крива 1) коефіцієнт очистки досягає максимуму зміни  $\Psi\Sigma = 1, 0$ . Якщо час обробки досягає зміни з 1с до 12с напруження дорівнює  $U = 8$  кВ, то коефіцієнт  $\Psi$  зростає у 1,66 рази, що характерно для усього досліджуваного діапазону напружень на електродах.

Ефективність руйнування суспензій залежить від фракційного складу дисперсної фази – еквівалентного діаметра часток забруднень. Застосування системи неізованих електродів зменшує інтенсивність процесу очистки і декілька збільшує енерговитрати, але дозволяє практично без обмеження збільшувати ресурс електродного фільтропакету. При цьому дещо знижується це релаксації поляризаційного заряду на наповнювачі. Зростання стікання заряду з наповнювача обумовлено контактом останнього з неізованими електродами.

Швидкість подачі  $V_0$  очищуваних рідин впливає на процес електроочистки. Зростання  $V_0$  від 0,01 до 0,08 м/с приводить до зменшення коефіцієнта очистки  $\psi$  в 1,47 рази, якщо напруга на електродах дорівнювала 7 кВ. Як свідчать графіки (рис. 12) теоретична залежність (крива 4) та експериментальна (крива 1) добре співвідносяться, похибка не перевершує п'яти відсотків. Похибка не перевищує 10 % і для теоретичної і експериментальної залежності ефективності очистки від напруги на електродах. На ефективність очистки, якщо рівні енергозатрати, має вплив фракційний склад дисперсної фази. Якщо щільність струму дорівнює 1,5 мкА/м<sup>2</sup>, то для часток розміром від 50 до 100 мкм  $\psi = 1$ , в той же як для часток розміром від 5 до 10 мкм коефіцієнт очистки  $\psi = 0,7$ . На енергозатрати мають вплив також напруга на електродах, вміст механічних домішок та фізична природа наповнювача.

Теоретичні та експериментальні дослідження на модульних елементах дозволили встановити найкращі співвідношення конструктивних параметрів процесу електроочистки і розробити та виготовити лабораторний зразок ЕО, який покладено в основу розробленого методу відновлення експлуатаційних якостей авіаційних ПММ.

Як керуючі параметри процесу тонкої фінішної очистки прийняті:  $U$  – напруга на електродах,  $\delta$  – зазор між електродами,  $Q$  – відносна подача,  $V_0$  – швидкість подачі оливи,  $c$  – відносний вміст механічних забруднень в оливі.

Аналіз результатів досліджень (рис. 13) показав що існує область найбільш прийнятних сполучень параметрів  $U$  і  $\delta$ , відповідно до яких коефіцієнт очистки  $\psi = 0,98 \dots 1,0$ . Якщо  $\delta \leq 1,0$  коефіцієнт очистки  $\psi$  зменшується, тому що зростає витік заряду з поверхні поляризаційного наповнювача. В межах зазорів від  $\delta = 1$  до 1,5 коефіцієнт очистки  $\psi$  досягає

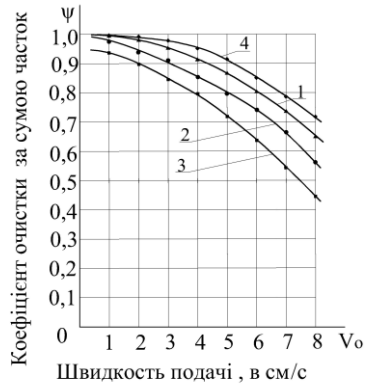


Рис. 12. Залежність коефіцієнта очищення від швидкості подачі суспензії для ряду значень напруги на електродах (масло «Гідро–Нікоіль»  $c = 0,0005$ ,  $t = 20^\circ \text{C}$ ): 1 –  $U = 7$  кВ; 2 –  $U = 6$  кВ; 3 –  $U = 4$  кВ; 4 – Розрахункова залежність за формулою (8)

найбільших значень, якщо напруга на електродах відповідно дорівнює від  $U = 6,5 \dots 8,0$  кВ.

Аналіз досліджень (рис. 14) свідчить, що місце область найкращих сполучень параметрів відносної подачі оливи  $Q$  і напруга на електродах  $U$ , якщо зазор дорівнює  $\delta = 1,5$  мм, то коефіцієнт очистки  $\psi$  – досягає максимуму і дорівнює  $\psi = 0,99-1,0$ .

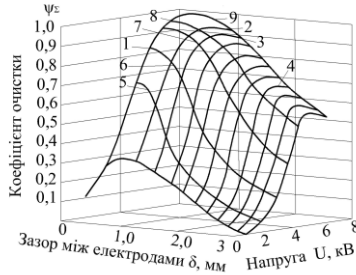


Рис. 13. Залежність коефіцієнта очищення  $\psi$  від зазору між електродами  $\delta$  та напруги на електродах  $U$

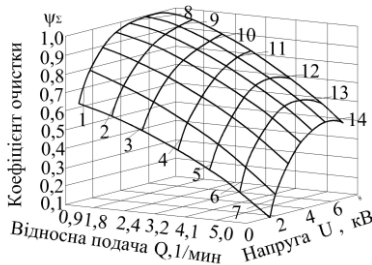


Рис. 14. Залежність коефіцієнта очищення  $\psi$  від відносної подачі  $Q$  та напруги на електродах  $U$

Лабораторні дослідження розробленого методу відновлення експлуатаційних якостей авіаційних ПММ і світлих нафтопродуктів виконувалися на лабораторному зразку (рис.15) з електродним фільтропакетом (рис. 5).

Дослідження виконувалися на робочих рідинах – оливах «Гідро-Нікоіл», «Турбо-Нікоіл», трансформаторній оливі, авіаційному паливі ТС-1, пінчому паливі ПВТ та дизпаливі.

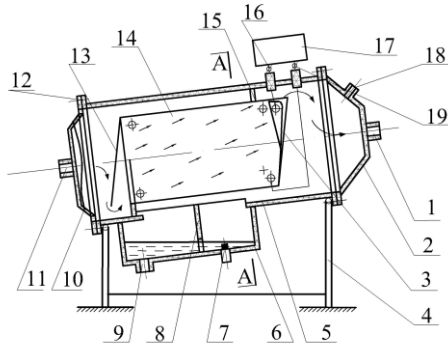
Підключення лабораторного зразка до об'єкту очищення виконувалося за однобаковою або двобаковою схемами.

Метод відновлення експлуатаційних якостей ПММ передбачає подачу забрудненої діелектричної рідини до вхідного пристрою ЕО, за яким він поділяється плоскими електродами на ряд плоских течій, рівномірно розповсюджуючись по перетину фільтропакету, заповнюючи внутрішній об'єм фільтропакету. Під дією квазіпостійного електричного поля дисперсна фаза

забруднить осаджується на поверхні поляризаційного наповнювача з подальшим переміщенням уздовж волокон до зони утилізації – в активний відстійник, звідки й утилізується. Очищена рідина виходить із ЕО через вихідний направляючий апарат та патрубок.

Рис. 15. Конструктивна схема лабораторного ЕО:

1 – пацівок виходу рідини; 2, 10 – бічна кришка; 3 – вихідний направляючий апарат; 4 – опорна ферма; 5 – циліндричний корпус; 6 – багатоканальний відстійник; 7 – сигналізатор наявності вільної води; 8 – перегородка; 9 – отвір зливу відстою; 11 – патрубок входу рідини; 12 – елементи кріплення; 13 – вхідний направляючий апарат; 14 – електродний фільтропакет; 15 – діелектрична опорна плита; 16 – електрична клема; 17 – високовольний джерело живлення; 18 – отвір для стравлювання повітря; 19 – електрична клема



Аналіз результатів випробування оцінки ефективності метода відновлення експлуатаційних якостей ПММ в квазіпостійному електричному полі ЕО показано на рис. 16.

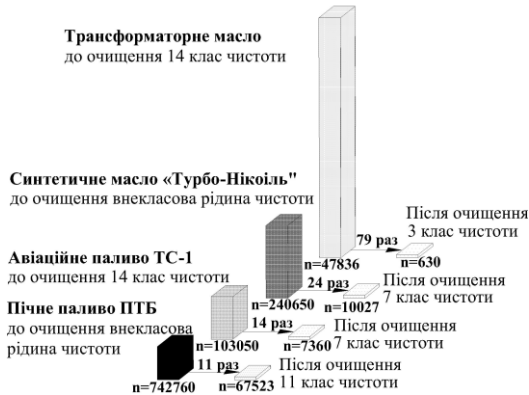


Рис. 16. Результати аналізу оцінки ефективності відновлення експлуатаційних якостей світлих нафтопродуктів в квазіпостійному електричному полі лабораторного ЕО

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 17216-2004 клас чистоти очищуваних рідин відповідав: авіаційне паливо ТС-1 і трансформаторна олива – 14 клас; синтетична олива «Турбо-Нікоіль» і пічне паливо ПТБ – позакласна рідина з поштучною концентрацією 240650 шт. та 742760 шт. в  $100 \text{ см}^3$  відповідно.

Як свідчать результати випробувань, відповідно до фіксованої подачі рідини на лабораторний зразок ЕО і напруги на електродах від 6 до 8,5 кВ забезпечувалася якісна очистка світлих нафтопродуктів і синтетичної оливи забезпечувалося підвищення класу чистоти в 3,5 рази, а поштучна концентрація забруднень знизилася в «Турбо-Нікоіль» в 24 рази, ТС-1 в 14 разів, пічному паливі в 11 разів відповідно до проб по  $100 \text{ см}^3$  кожної рідини.

Порівняльна оцінка розробленого методу відновлення експлуатаційної якості ПММ подана на рис. 17 та 18.

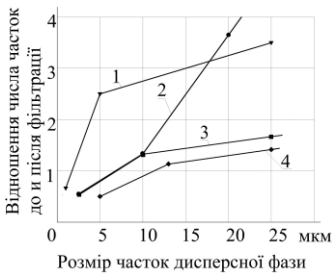


Рис. 17. Порівняльна оцінка ефективності очистки авіаційних олив від механічних забруднень:  
1 – ЕО; 2 – Фільтр Р200 фірми «Палл»; 3, 4 – Поліпропіленовий механічний фільтр

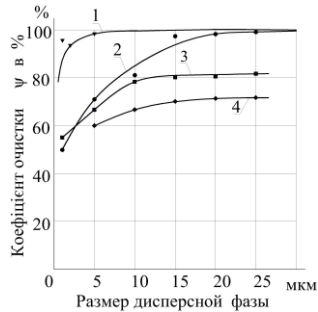


Рис. 18. Залежність коефіцієнта очистки  $\psi$  від розмірів дисперсної фази  $\alpha$ :  
1 – метод електроочистки; 2 – фільтр Р200 фірми Палл; 3, 4 – поліпропіленові механічні фільтри  $W_1$  і  $W_2$

Аналіз показує, що електроочистка забезпечує більш високу ефективність і тонкість очистки (графік 1 рис. 17) механічні поліпропіленові фільтри (графік 3), ці відповідно фільтру Р-200 фірми «Палл» (графік 2) поступаються розробленому методу. Якщо тонкість фільтрації 5 мкм, то зниження числа часток після електроочистки досягає 300 разів, а кращий з механічних Р-200 лише у 5,6 рази. Метод відновлення експлуатаційних якостей ПММ за допомогою електроочистки потребує енергозатрат не більше 200 Вт на  $1 \text{ м}^3$  рідини, при цьому перепад тиску на фільтропакеті дорівнює не більше 0,06 мПа.

Розроблений метод відновлення експлуатаційних якостей ПММ дає не лише високі кількісні показники, але дозволяє реалізувати більш високу якість очистки.

Аналіз результатів (рис. 18) свідчить, що коефіцієнт очистки  $\psi$  залежно від розміру забруднень  $d$  у електроочистки вищий (крива 1), ніж у механічних поліпропіленових криві 2, 3, 4.

Для часток  $d = 1 \text{ мкм}$  у ЕО  $\psi$  вищий у 1,5-1,8 рази, а частки розміром  $d = 0,5 \text{ мкм}$  видаляються якщо застосовується метод електроочистки.

Наведено також рекомендації до практичного застосування розробленого методу відновлення експлуатаційної якості ПММ у квазіпостійному електричному полі від виробництва ПС і їх експлуатації до виробництва світлих нафтопродуктів і можливості застосування під час виробництва продуктів харчової промисловості.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено високоєфективний метод відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних енергетичних систем у квазіпостійному електричному полі, який успішно пройшов лабораторні випробування на кафедрі конструкції літальних апаратів НАУ з розширеними експлуатаційними можливостями:

- робочими температурами – до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;
- вихідна концентрація забруднень - до 650 г/т;
- номінальній тонкості очистки 5-10 мкм;
- споживча електрична потужність не більш 200 Вт на  $1\text{ м}^3$  очищеного продукту;

- гідравлічний опір не перевищує 0,06 мПа.

Розроблено практичні рекомендації до втілення методу відновлення експлуатаційних властивостей робочих рідин ФС у квазіпостійному електричному полі. Прямоточне очищення гідравлічних мастил при оптимальному поєднанні керуючих параметрів дозволяє отримати з позакласних рідин масла, що відповідають 3 класу чистоти за ДСТУ ГОСТ 17216-2004 й 2 класу SAE і NAS, а можливість транспортування забруднень з зони фільтрації в зону утилізації дозволяє застосувати метод відновлення експлуатаційних якостей в технологічних процесах з безперервним циклом роботи.

Результати лабораторних випробувань експериментального повнорозмірного зразка ЕО показали його високу ефективність.

В основі фізичних явищ руйнування суспензій лежать поляризаційні ефекти, які забезпечують взаємодію поляризаційних частинок механічних домішок з волокнами поляризаційного наповнювача.

Розподіл загального потоку на ряд плоских тонкошарових течій за допомогою електродної системи очисного пакету дозволило скоротити час електрообробки масел, що очищаються.

2. Розроблено експериментальне устаткування для дослідження методу відновлення експлуатаційної якості ПММ, яке забезпечує широкий діапазон варіювання керуючих параметрів процесів електроочистки.

3. Розроблена фізична модель і отримано аналітичне рівняння оцінки ефективності методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин авіаційних функціональних систем, які дозволяють прогнозувати межу варіювання керуючих параметрів залежно від тонкої фільтрації.

4. Вперше доведено, що в умовах багатокomпонентної системи робочої зони неізольованих електродів працює взаємодія електричних часток механічних забруднень з електричним полем поляризаційного наповнювача.

5. Лабораторні експериментальні дослідження розробленого методу підтвердили наявність впливу керуючих чинників на фінішне тонке очищення мінеральних і синтетичних авіаційних олів і світлих нафтопродуктів.

Установлено, що ефективність розробленого методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин в 5,68 разів вища за систему механічних фільтрів P200 фірми «Палл», а зниження кількісної концентрації часток забруднень у 60 разів перевищує поліпропіленові фільтри .

## ПУБЛІКАЦІЇ

1. Анализ результатов экспериментальных исследований электроочистки гидравлического авиационного масла «Гидро-Никоиль» и эффективности работы электроочистителя. – К.: Вісник Інженерної академії України № 3, 4. – 2009. – С. 8-13.

2. Аналитическая оценка эффективности работы электроочистителя с волокнистым диэлектрическим наполнителем / В.В. Гаража, Динь Тан Хынг – К.: НАУ, Вестник № 1, 2007. – С. 153-158.

3. The analysis and the trends of electrocleaners development/ V.V. Garazha, Y.P. Davidenko, Dinh Tan Hung – Proceedings of the National Aviation University. – К.: НАУ, № 2., 2005. – Р. 45–48.

4. Оценка эффективности разрушения суспензии в квазипостоянном электрическом поле поляризованного электроочистителя/ В.В. Гаража, Динь Тан Хынг – матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2009», том I. – К.: 2009. – С. 17.65-17.68.

5. Методики оценки эффективности очистки гидравлического масла «Гидро-Никоиль» от механических загрязнений/ В.В. Гаража, Динь Тан Хынг – матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2007» том II. – К.: 2007. – С. 33.75-33.78.

## АНОТАЦІЯ

**Динь Тан Хынг. Метод відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних енергетичних систем авіаційних транспортних комплексів в квазіпостійному електричному полі. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Національний авіаційний університет, Київ 2010.

Дисертація присвячена розробці та дослідженню високоефективного методу відновлення експлуатаційних якостей робочих рідин функціональних енергетичних систем авіаційних транспортних комплексів у квазіпостійному електричному полі.

Експериментальні дослідження дозволили розробити метод відновлення, який забезпечує тонку фінішну очистку робочих рідин ФС до рівня 3 класу чистоти відповідно до ДСТУ ГОСТ 17216-2004, або 2 класу SAE і NAS. Метод забезпечує безперервне виділення дисперсної фази забруднень із зони електрофільтрації в зону накопичення та утилізації. Виявлено керуючі



параметри та ступінь впливу їх на ефективність методу відновлення. Показано, що в основі розробленого методу домінують процеси поляризаційної взаємодії між дисперсною фазою забруднень і волокнами ниткоподібного вовняного наповнювача. Отримано аналітичний вираз ефективності методу і роботи ЕО, підтверджений експериментальними дослідженнями. Визначено межі найкращих сполучень конструктивно – технологічних параметрів процесу.

Метод можливо реалізувати в умовах виробництва, застосування і експлуатації повітряних суден, а також на підприємствах виробництва світлих нафтопродуктів та харчової промисловості.

**Ключові слова:** метод, електроочистка, електроочисник, коефіцієнт очищення, ефективність, електричне поле, рідина, суспензія, емульсія, поляризація, функціональні енергетичні системи.

## ANOTATION

**Dinh Tan Hung. The restoring method of operational liquid properties of functional energy systems of the air transport complexes in quasi-constant electric field - Manuscript.**

Technical candidate's thesis, specialty 05.22.20 – Maintenance and repair of transport - National Aviation University, Kiev 2010.

The thesis is devoted to developing and researching highly effective method for restoring of operational liquid properties of functional energy systems of the air transport complexes in quasi-constant electric field.

Experimental researching have allowed to develop a restoring method that provides a fine finish cleaning for operational liquid functional energy systems to 3 cleanliness level of DSTU GOST 17216-2004, or 2 class of SAE and NAS. The method provides a continuous separation of dispersed phase of contaminants from a electrofiltration zone to the zone of accumulation and utilization. Control parameters and the degree of their influence on the effectiveness of the restoring method were identified. It is shown that the basis of the method is the domination of processes of the polarization interaction between dispersed phase contaminants and fibers of threadlike wool filler. An analytical expression of the effectiveness of the method and electrocleaner's working is confirmed by experimental researching. The boundaries of the best combination of constructive - technological parameters of the process are defined.

Method can be implemented in the production, using and maintenance of aircraft, as well as at the enterprises of production of light oil products and food industries.

**Key words:** method, electrocleaning, electrocleaner, the coefficient of electrocleaning, efficiency, the electric field, liquid, suspension, emulsion, polarization, and functional energy systems.

## АННОТАЦИЯ

**День Тан Хынг. Метод восстановления эксплуатационных свойств рабочих жидкостей функциональных энергетических систем авиационных транспортных комплексов в квазипостоянном электрическом поле – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта - Национальный авиационный университет, Киев 2010.

Диссертация посвящена разработке и исследованию высокоэффективного метода восстановления эксплуатационных свойств рабочих жидкостей функциональных энергетических систем авиационных транспортных комплексов в квазипостоянном электрическом поле.

Экспериментальные исследования позволили разработать метод восстановления, который обеспечивает тонкую финишную очистку рабочих жидкостей ФС до уровня 3 класса чистоты согласно ДСТУ ГОСТ 17216-2004, или 2 класса SAE и NAS. Метод обеспечивает непрерывное выделение дисперсной фазы загрязнений из зоны электрофильтрации в зону накопления и утилизации. Выявлено управляющие параметры и степень влияния их на эффективность метода восстановления. Показано, что в основе разработанного метода доминируют процессы поляризационного взаимодействия между дисперсной фазой загрязнений и волокнами нитевидного шерстяного наполнителя. Получено аналитическое выражение эффективности метода и работы ЭО, подтвержденное экспериментальными исследованиями. Определены границы лучших сочетаний конструктивно-технологических параметров процесса.

Разработан высокоэффективный метод восстановления эксплуатационных свойств рабочих жидкостей функциональных энергетических систем в квазипостоянном электрическом поле, который успешно прошел лабораторные испытания на кафедре конструкции летательных аппаратов Национального авиационного университета с расширенными эксплуатационными возможностями:

- рабочими температурами – до 50°C;
- исходная концентрация загрязнений - до 650 г/г;
- номинальной тонкость очистки 5-10 мкм;
- потребительская электрическая мощность не более 200 Вт на 1 м<sup>3</sup> очистки продукта;
- гидравлическое сопротивление не превышает 0,06 МПа.

Метод возможно реализовать в условиях производства, применения и эксплуатации воздушных судов, а также на предприятиях производства светлых нефтепродуктов и пищевой промышленности.

**Ключевые слова:** метод, электроочистка, электроочиститель, коэффициент очистки, эффективность, электрическое поле, жидкость, суспензия, эмульсия, поляризация, функциональные энергетические системы.