



УДК 629.7.064.001

Трофімов І.Л., Бурикін В.В., Зубченко О.М.
Національний авіаційний університет. Україна, Київ

ПЕРЕСУВНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ РОБОЧИХ РІДИН, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЦІЛЯХ

Анотація

Розглянуто питання очистки робочих рідин різними методами. Розроблено удосконалений електросепаратор і гідроциклон для очистки рідин від механічних домішок, сконструйована пересувна установка для очистки робочих рідин з використанням силових полів. Приведено результати експериментального дослідження роботи вказаної установки.

Abstract

The question of cleaning working liquids is considered in number of different ways. More improved separator is developed and gidrocyclone for cleaning liquids from mechanical admixtures, the movable setting is constructed for cleaning of working liquids with the use of the power fields. The results experimental research of work the indicated setting are represented.

Вступ. Світовий досвід експлуатації повітряних кораблів накопичив величезний статистичний матеріал по відмовам бортових систем через підвищений рівень забрудненості робочих рідин. Узагальнений досвід з експлуатаційної надійності паливних систем вітчизняних і закордонних літаків свідчить, що майже 30% усіх аварій і катастроф, до 50% відмов авіаційних двигунів, від 20 до 40% – гідравлічних і майже 10% відмов паливних систем відбуваються внаслідок забруднення робочих рідин, а термін роботи насосів і інших агрегатів скорочується по цій причині у 6–7 разів [1, 2]. Аналогічні дані наведені і у працях Г.А. Нікітіна, П.Н. Беляєва та інших авторів [3, 4].

Забруднення робочих рідин призводить до забивання форсунок, малих отворів, заклинювання золотникових пар, командно-паливних агрегатів; сприяє прискореному зношуванню насосів і виконуючих механізмів, збільшенню витоків через зазори рухомих з'єднань.

Чистота робочих рідин залежить не тільки від якості їх фільтрації, але від чистоти робочих місць і атмосфери виробничих приміщень, чистоти миючих і технологічних рідин ефективності очистки, промивки і контролю якості чистоти робочих агрегатів і трубопроводів. Значна частина забруднень складається з домішок, що залишилися після

виготовлення виробу. Це залишки від термічної і механічної обробки, підгонки і притирання, залишки абразивних паст після цих операцій.

Постійна увага до проблеми забезпечення промислової чистоти рідин продиктована багатьма чинниками. При високих рівнях чистоти робочих рідин систем гарантується безпека польотів, забезпечується надійність, збільшується технічний ресурс агрегатів систем, внаслідок чого видатки на досягнення і підтримку необхідного рівня чистоти робочих рідин цілком виправдані. Особливої актуальності набувають питання систематизації і вдосконалення методів і засобів промислової чистоти по можливості з найменшими трудовитратами і контролем рівня чистоти протягом всього циклу виробництва. Проблеми забезпечення промислової чистоти рідин пов'язані з економією матеріальних ресурсів, охороною довкілля, покращенням санітарних умов праці і зниженням пожежної небезпеки технологічних процесів.

Аналіз досліджень і публікацій. Основним бракувальним показником для нафтопродуктів, що використовуються для технологічних цілей при очистці агрегатів і систем машин є вміст забруднюючих домішок і води. Саме недопустима забрудненість і оводненість палив, масел, рідин гідравлічних систем є причиною їх заміни в технологічному обладнанні. Захист і очищення нафтопродуктів від забруднення сприяє подовженню строку їх використання і, відповідно, значній економії. Існують різні методи очищення робочих рідин, які умовно можуть бути поділені на три групи: фільтрація, очистка з використанням силових полів і очистка з використанням фізико-хімічних властивостей забруднень і робочих рідин [5, 6].

Як відомо, фільтрування здійснюється при пропусканні робочої рідини через пористі перегородки фільтрів грубої і тонкої очистки. Робота силових агрегатів основана на ефекті взаємодії частинок забруднень з силовим полем: гравітаційним, відцентровим, магнітним, електростатичним, електромагнітним і полями сил, що генеруються ультразвуковими коливаннями. Фізико-хімічна очистка і обезводнювання робочих рідин здійснюється з застосуванням силікагелів, або цеолітів, масообмінного осушування, виморо-

жування вільної і емульсійної води. Кожний з цих методів має свої переваги і недоліки, але всім їм властиве одне — вилучений з рідини концентрат забруднюючих домішок, що накопичується і постійно перебуває в середині очищаючого засобу і знаходиться під дією гідродинамічного напору потоку рідини. Через це знижується пропускна спроможність, зростає гідравлічний опір і під дією течії і пульсації тиску в системі відбувається вимивання і генерування забруднень самим очищаючим засобом. Все це понижує надійність і ефективність очищування, а також спонукає проводити періодичну регенерацію очищаючих засобів, або заміну їх фільтруючих елементів. Ці недоліки відсутні у сепараторів.

Постановка завдання. На основі наукових і експериментальних напрацювань розробити більш досконалий електросепаратор, гідроциклон для очистки рідин від механічних домішок та сконструювати пересувну установку для очистки робочих рідин з використанням силових полів.

У відповідності до технічних вимог і властивостей рідин, що будуть піддаватися очистці, був розроблений електросепаратор, гідроциклон для очистки рідин від механічних домішок і пересувна установка для очистки робочих рідин.

Електросепаратор розділює струмінь води на два потоки за допомогою неоднорідного електричного поля: один потік з високою концентрацією забруднюючих домішок, а інший — з відносно низькою концентрацією. Для здійснення ефективного розмежування рідин з різним ступенем забрудненості запропонована схема робочої комірки електросепаратора (рис. 1), роботу якого лабораторно досліджено.

Робоча комірка електросепаратора складається з корпусу 1, в якому радіально розташовані робочі електроди 2, 3, які оточені колектором збору чистої рідини 4 з отворами 5. На корпусі електросепаратора розташовані патрубки підводу очищаючої рідини 6, відводу чистої рідини 7 і відводу концентрації забруднень 8.

Під час роботи в середині електросепаратора створюється неоднорідне електричне поле між електродами, які з'єднані з джерелом високої напруги постійного струму через автомат зміни знаку потенціалу. Найбільший потенціал електричного поля припадає на центральну частину, де відстані між електродами найменші. При віддаленні від осі за радіусом напруженість поля відповідно зменшується. Рідина на очищення подається у вхідний патрубок — в зону максимальної напруженості поля.

Рідина в корпусі сепаратору розділяється на два потоки: один потік направлений вздовж осі сепаратору, а другий — по нормалі до вісі.

Частинки забруднення, що потрапили у зону максимальної напруженості поля, переміщуються вздовж сепаратору разом з рідиною під дією гідродинамічного напору і через патрубок відводу концентрату забруднень виводяться назовні.

Для подальшого розподілу та очищення рідини нами запропоновано очищену за допомогою сепаратору рідину направляти до електроочисника, а забруднену рідину знову повертати в бак очистки (гідроциклон), удосконалену конструкцію якого було розроблено авторським колективом та запатентовано в Україні [7].

Гідроциклон для очистки рідин від механічних домішок (рис. 2) містить у собі циліндричний корпус 1 з конічною нижньою частиною 2, перфорований конусний корпус—розділювач 3, який встановлено в середині корпусу та який ділить корпус гідроциклону на дві частини: внутрішню та зовнішню відносно корпус—розділювача, забірний рукав із сітчастою стінкою 4, який розміщено в середині конусного корпус—розділювача, забірний патрубок 5, який з'єднаний із забірним рукавом і по якому виводять очищену рідину, патрубок зливу відстою 6, який приєднано до нижньої конічної частини корпусу, кран 7, який приєднаний до патрубка зливу відстою, тангенціальний патрубок вводу рідини 8, який

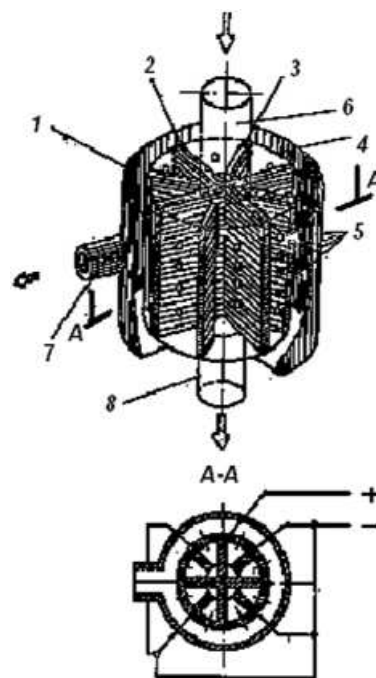


Рис. 1. Принципова схема робочої комірки електросепаратора

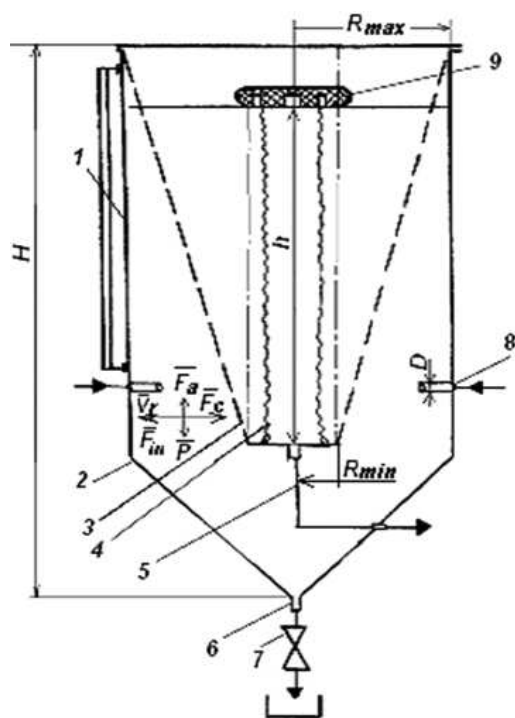


Рис. 2. Гідроциклон для очистки рідин від механічних домішок та схема сил, діючих на астижку забруднень:

H – висота корпусу гідроциклону; D – діаметр тангенціального патрубку вводу рідини; h – висота забірної рукава із сітчастою стінкою; R_{max} – максимальний радіус верхньої частини перфорованого конусного корпусу-розділювача; R_{min} – мінімальний радіус нижньої частини перфорованого конусного корпусу-розділювача

розміщено в нижній частині корпусу, поплавок 9 приєднаний зверху забірної рукава із сітчастою стінкою.

Гідроциклон для очистки рідин від механічних домішок діє наступним чином. Рідина під тиском подається по тангенціальному патрубку у корпус. Під дією відцентрових сил рідина із забрудненням в ній переходить в обертальний рух, забруднення відкидаються до стінок гідроциклону, очищаюча рідина концентрується у центра корпусу. Таким чином здійснюється розділення більшої маси очищаючої рідини і механічних домішок, що попадають в середину гідроциклону. Розділена очищаюча рідина пересувається в верх по гідроциклону все більш концентруючись навколо конусного корпус-розділювача.

Завдяки перфорованому конусному корпус-розділювачу в внутрішній порожнині відсутній рух рідини ($v_1 = 0$), а отже відповідно законам фізики тиск максимальний ($P_1 = \max$), ззовні

конусного корпус-розділювача завдяки відцентровому полю швидкість v_2 досягає максимуму ($v_2 = \max$), а отже тиск наближується до мінімального ($P_2 = \min$). Як наслідок виникає різниця тисків ($P_1 \gg P_2$), яка направлена із середини конусного корпус-розділювача, що дозволяє втримувати механічні домішки від проникнення із зовнішньої частини в внутрішню. В внутрішній частині конусного корпус-розділювача очищена рідина потрапляє в забірний рукав із сітчастою стінкою і через забірний патрубок відводиться в ємність для очищеної рідини (на кресленні не показана). Дрібнодисперсні частинки забруднень осідають у нижній конічній частині корпусу і далі надходять у патрубок зливу відстою та при відкриванні крану виводяться із гідроциклону.

Таким чином здійснюється очистка рідин, які містять у собі забруднення у вигляді механічних домішок розміром 20 мкм і більше. При цьому процес очищення за допомогою запропонованого гідроциклону є високоефективним та потребує мінімальної енергозатрати тільки на підтримку подачі рідини, що подається у гідроциклон.

Нижче приведено розрахунок геометричних розмірів гідроциклону для очистки рідин від механічних домішок і часу осадження частинок забруднень розміром 20 мкм і більше.

На частинку забруднення діють: відцентрова сила інерції F_{in} , сила стоксового опору F_c , сила ваги P , архімедова сила F_a та коріолісова сила інерції, на рис. 1 вона не позначена, тому що перпендикулярна площині креслення. Що стосується сил P та F_a , то вони практично врівноважують одна одну, а коріолісовою силою інерції можна знехтувати з огляду на досить малу відносну швидкість частинок забруднення [5].

В даному випадку диференціальне рівняння руху частинки забруднення можна записати в такому вигляді:

$$m = \frac{dv_r}{dt} = F_{in} - F_c, \quad (1)$$

де m – маса частинки забруднення; $v_r = \frac{dr}{dt}$ – відносна швидкість.

Як відомо [5], відцентрова сила інерції дорівнює:

$$F_{in} = m \frac{v_E^2}{r}, \quad (2)$$

де v_E – переносна швидкість частинок; r – радіус від осі обертання до прикладення сили.

$$F_c = 3\pi d\mu v_\tau, \quad (3)$$

де d – умовний діаметр частинки; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини.

Переносну швидкість v_E можна визначити через прокачку Q і площу перетину патрубку вводу рідини по формулі:

$$v_E = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (4)$$

де D — діаметр цього патрубка.

Що стосується маси m частинки забруднення, то, приймаючи умовно частинку у вигляді кульки з діаметром d і густиною ρ , її масу можна представити як

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \rho. \quad (5)$$

Після підстановки всіх вказаних величин в рівняння (1) та подальших скорочень це рівняння можна записати у вигляді:

$$\frac{d^2 r}{dt} + 18 \frac{\mu}{d^2 \rho dt} \frac{dr}{dt} - \left(\frac{4Q}{\pi d^2} \right) \frac{1}{r} = 0; \quad (6)$$

$$\partial e \frac{dr}{dt} = v_r; \quad \frac{d^2 r}{dt} = \frac{dv_r}{dt}.$$

Рівняння (6) є нелінійним однорідним диференціальним рівнянням 2-го порядку, розв'язання якого пов'язане з певними труднощами. Тому розв'язання можна провести шляхом визначення значення r у вигляді розкладання його в ряд Мак'лорена, тобто у вигляді:

$$r = r_{(0)} + r_0 t + \frac{r_{(0)}}{2!} t^2 + \frac{r_{(0)}}{3!} t^3 + \frac{r_{(0)}}{4!} t^4. \quad (7)$$

Для визначення початкових значень похідних 3-го та вищих порядків, що стоять в ряду Мак'лорена, можна послідовно диференціювати по показнику часу диференціальне рівняння руху частинки забруднення, тобто, підвищуючи його порядок кожного разу на одиницю.

В наслідок розв'язання кожного з одержаних таким чином рівнянь відносно вищої похідної отримуються загальні визначення (в функції показника часу) похідних 3-го та вище порядків, що вирішуються. Загальне визначення для похідної 2-го порядку може бути одержане безпосередньо з диференціального рівняння руху. Підставляючи в знайдені таким чином похідні початкові умови, тобто $t = 0$, $r_{(0)} = r_0$, $r_{(0)} = 0$, неважко одержати вирази для всіх коефіцієнтів в ряді Мак'лорена в функції відомих початкових умов і коефіцієнтів диференціального рівняння руху.

В якості прикладу розглянемо циклон, що має такі параметри: $r_0 = 2,5$ см; $R = 25$ см; $Q = 10^3$ см³/с; $D = 1$ см; $R \geq r \geq r_0$.

Для частинок забруднень розміром $d = 0,002$ см.

$$r = 2,5 + 2,5 \cdot 10^3 t^2 - 12,75 \cdot 10^7 t^3 + 8,0 \cdot 10^{11} t^4 + \dots + \frac{r_{(0)}}{n!} t^n. \quad (8)$$

Приймаючи $r = R - r_0 = 22,5$ см можна з виразу (3) знайти час руху такої частинки, який приблизно дорівнює $t = 0,26$ с. Для крупніших частинок забруднень цей час буде меншим.

Порівняємо значення цього часу t зі значенням часу τ перебування в пристрої. Значення часу τ можна визначити, якщо відомий об'єм пристрою, який дорівнює:

$$V = rR^2 h + \frac{2}{3} \pi R^2 (H - h). \quad (9)$$

З формули $V = Q \cdot \tau$ знаходимо:

$$\tau = \frac{\pi R^2 h + \frac{2}{3} \pi R^2 (H - h)}{Q}. \quad (10)$$

Також авторським колективом було розроблено, апробовано та запатентовано в Україні [8] пересувну установку для очистки робочих рідин. Гідравлічна схема пересувної установки для очистки забрудненої робочої рідини зображена на рис. 3.

Пересувна установка для очистки забрудненої робочої рідини містить у собі бак гравітаційної очистки 1, який містить вимірювальне скло 2, плаваючий забірний рукав із сітчастою стінкою 3 та патрубок підведення забрудненої рідини 4, який розміщений по дотичній до стінки бака в нижній його частині, в нижній конічній частині баку встановлений кран зливу забруднень 5. Плаваючий забірний рукав із сітчастою стінкою 3 по мірі виходу із бака гравітаційної очистки переходить в патрубок, після якого по ходу

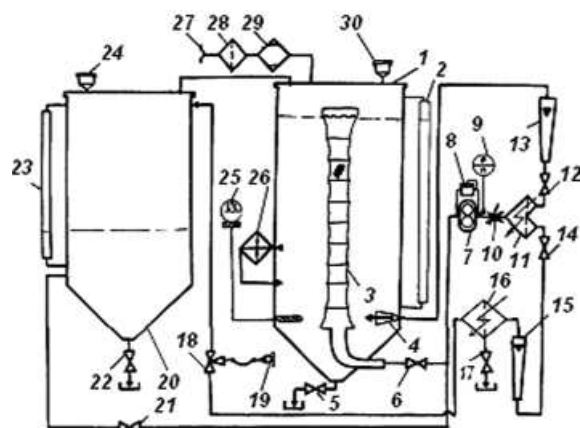


Рис. 3. Гідравлічна схема пересувної установки для очистки робочих рідин



трубопроводу встановлений кран 6 та насос шестеренний 7. Для запобігання надлишковому тиску після насосу встановлений запобіжний клапан 8 і далі по ходу трубопроводу встановлений манометр тиску 9, після якого встановлений регулятор витрат 10 та електросепаратор 11. По одній гільці трубопроводу після електросепаратора встановлений кран брудної рідини 12 та ротаметр брудної рідини 13 після якого рідина по трубопроводу потрапляє до патрубку підведення забрудненої рідини. По ходу другої гілки трубопроводу після електросепаратора встановлений кран чистої рідини 14 та ротаметр чистої рідини 15 та електроочищувач від механічних домішок 16 в нижній частині якого встановлений кран 17 для зливу забруднень. За електроочищувачем від механічних домішок розміщений трьохходовий кран 18 до якого кріпиться приєднувальний відвідний штуцер 19 та, який з'єднаний з баком очищеної рідини 20. Бак очищеної рідини додатково з'єднаний з шестерним насосом і між ними встановлений кран 21. Бак очищеної рідини містить кран зливу чистої рідини 22, вимірвальне скло 23, та заливну горловину 24, яка розміщена в верхній частині баку. До баку гравітаційної очистки через штуцерне з'єднання приєднаний термометр 25 та теплообмінник 26, зверху до баку прикріплений забірник повітря 27. Між забірником повітря та баком послідовно розміщені повітряний фільтр 28 та прикріплений до нього осушувач повітря 29, також в верхній частині баку встановлена заливна горловина 30.

Пересувна установка для очистки забрудненої робочої рідини працює наступним чином. Рідина, яку потрібно очистити, заливається у бак гравітаційної очистки через заливну горловину. Через вимірвальне скло слідкують за рівнем рідини в баці та вимірюють її об'єм. У баці під дією гравітаційних сил очищаюча рідина попередньо очищується від забруднень частинок великих розмірів у полі гравітаційних сил. З бака рідина за допомогою шестеренного насосу по трубопроводу через кран подається для подальшого доочищення в електросепаратор, при цьому при досягненні надлишкового тиску спрацьовує запобіжний клапан, яким і регулюють тиск в системі, який показує манометр тиску. Регулювання подачі рідини до електросепаратору виконують за допомогою регулятора витрат. У електросепараторі відбувається поділ потоку рідини, що очищується, на потік зі зниженою та підвищеною, у порівнянні з вихідною, концентрацією забруднень. Після електросепаратора рідина з підвищеною концентрацією забруднень повертається в бак для відстоювання і доочищення в полі відцентрових сил, оскільки в бак рідина підводиться по дотичній до стінки бака в нижній його частині

патрубком і за рахунок цього рідини набуває обертального руху. Після електросепаратора очищена рідина (зі зниженою концентрацією забруднень) надходить для більш тонкої очистки в електроочищувач від механічних домішок і далі в бак збору чистої рідини. Витрата суміші, що очищується, вимірюється за допомогою ротаметрів, а регулюється кранами брудної і чистої рідини. Рідина для подачі в електросепаратор відбирається за допомогою плаваючого забірної рукава із сітчастою стінкою з верхнього шару рідини. Нагрівання в'язкої очищаючої рідини відбувається за рахунок теплообмінника, а контроль температури очищаючої рідини у баці здійснюється термометром. Кількість очищеної рідини в баці вимірюють за допомогою вимірвального скла. Для запобігання вакууму та надлишковому тиску в баці служить заливна горловина, через яку також можна заливати в бак чисту рідину для зберігання, або доочищення. При відкриванні крану 21 та закриванні кранів 6 та 12 можна очищувати рідину тільки за допомогою електросепаратора та електроочищувача. За допомогою трьохходового крану та приєднувального відвідного штуцера при необхідності можна очищену рідину перекачувати в сторонню ємність, яку з'єднують з установкою за допомогою штуцера. У верхній частині бака розташовані: заливна горловина, повітряний фільтр, осушувач повітря, через які очищене та осушене повітря подається в бак, це здійснюється для запобігання потрапляння сміття в бак з повітрям та створення вакууму і виникненню надлишкового тиску у баці. Забруднення, які нагромаджуються у конічному відстійнику бака гравітаційної очистки виводяться з баку при відкриванні крану зливу концентрату. Очищену рідину зливають з баку очищеної рідини відкриванням крану. Злив забруднень з електроочищувача здійснюється відкриванням крану зливу відстою з електроочищувача.

Крім описаного вище, пересувна установка для очистки забрудненої робочої рідини додатково дозволяє: робити перекачування рідини з баку чистої рідини у бак гравітаційного очищення при відкриванні кранів 21 та 12 і закриванні кранів 14 та 6, очищувати забруднену рідину тільки у баці гравітаційного очищення закриванням кранів 21 та 14 при відкритих кранах 6 та 12, робити перекачування й очищення забрудненої рідини, що надходить зі сторонньої ємності.

Як показали результати досліджень, коли як робочу рідину використовували реактивне паливо марки ТС-1 з початковою концентрацією забруднень до 12 г/л, у результаті очищення одержали паливо, яке відповідає 2-му класу чистоти за ДСТУ ГОСТ 17216:2004. Результати досліджень також висвітлено на рис. 4, 5.

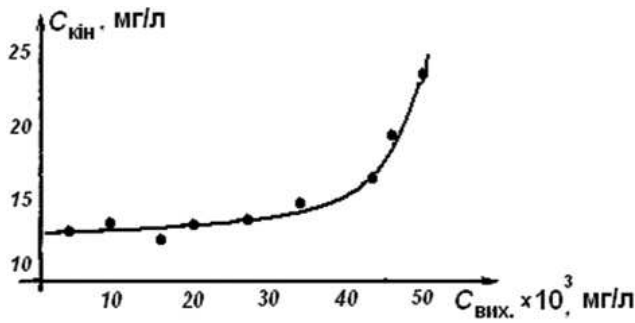


Рис. 4. Залежність очистки палива ТС-1 від початкової концентрації забруднення ($C_{\text{кін}}$ – кінцева, $C_{\text{вих}}$ – вихідна)

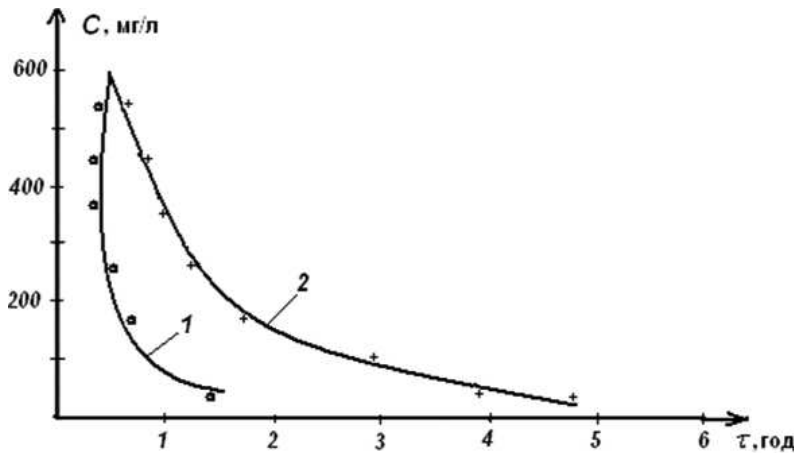


Рис. 5. Вплив часу сепарації на очистку нафтопродуктів: 1 – паливо ТС-1; 2 – масло АМГ-10

Висновки. Розроблено та апробовано більш досконалий електросепаратор та гідроциклон для очистки рідин від механічних домішок; пересувну установку для очистки робочих рідин з використанням силових полів. Отримані в ході експериментального дослідження, роботи вказаної установки, результати дають можливість зробити наступні висновки: розроблена пересувна установка для очистки забрудненої робочої рідини дозволяє спростити технологічний процес очистки забрудненої робочої рідини (сильно забруднених нафтопродуктів, відпрацьованих масел, спецрідин гідралічних систем) від забруднень різної природи: ґрунтового пилу, продуктів корозій трубопроводів і резервуарів, продуктів зносу третьових

деталей, вологи, забруднень біологічного характеру, як універсальний комплексний засіб очистки дозволяє виконувати очистку рідин концентрацією забруднень від 12 г/л (мілко дисперсні забруднення діаметром 5 мкм і більше) до першого-другого класу чистоти по ДСТУ ГОСТ 17216:2004, понизити трудоемкість процесу очистки вказаних рідин, продовжити термін експлуатації автомобільних та авіаційних діелектричних масел, а отже агрегатів масляних систем.

Литература

1. Лозицкий Л.П., Ветров А.М. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Воздушный транспорт, 1992. – 735 с.
2. Матвеева О.Л., Захарчук П.П., Захарчук В.П. Дослідження забрудненості рідин гідросистем літаків. // Промислова гідраліка і пневматика. – 2005. – № 2(8). – С. 36–42.
3. Wilson P.J. Solid Contaminant profiles. – Fluid Power International, 1992, vol. 37, № 439. – P. 19–22.
4. Никитин Г.А., Чирков С.В. Влияние загрязнённости жидкости на надёжность гидросистем летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1996. – 183 с.
5. Никонов К.Б., Карабцов Г.Л. Очистка жидкостей в силовых полях: Учебное пособие. – Киев: КИИГА, 1990. – 48 с.
6. Кравец И.А., Трофимов И.Л., Матвеева Е.Л., Бурыкин В.В. Стабилизация эксплуатационных свойств органических масел для газотурбинных двигателей внешним электромагнитным полем // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 46. – С. 201–209.
7. Пат. 15975 Україна. МПК (2006) B04C 5/00 Гідроциклон для очистки рідин від механічних домішок / О.М. Зубченко, І.Л. Трофімов, Л.В. Бурдюженко. Чинний від 17.07.2006.
8. Пат. 18337 Україна. МПК (2006) B03C 5/00. Пересувна установка для очистки забрудненої діелектричної рідини / І.Л. Трофімов, О.М. Зубченко, О.Л. Матвеева, П.П. Захарчук. Чинний від 15.11.2006.