

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра авіоніки**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Павлова С.В.  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ  
“БАКАЛАВР”**

Тема: Електростатичний очищувач  
авіаційних палив та мастил  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Виконавець: \_\_\_\_\_ Шпачинський Сергій Михайлович

Керівник: \_\_\_\_\_ Романенко Віктор Григорович

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Левківський Василь Васильович

**Київ 2022**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напря́м (спеціальність) 173 «Авіоніка»  
(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Павлова С.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022р.

## ЗАВДАННЯ на виконання дипломної роботи

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи : Електростатичний очищувач авіаційних палив та мастил

затверджена наказом ректора від «06» грудня 2021 р. №2658/ст

2. Термін виконання роботи : з 10 січня 2022 року по 28 лютого 2022 року

3. Вихідні дані до роботи : продуктивність очисника 8-10 літрів в хвилину, напруженість електричного поля 20 кВ, чистота рідини на виході – не більше 6 класу, конструкція розташована на рухомій платформі

4. Зміст пояснювальної записки: огляд літератури з очищення рідин у силових полях, очищення рідини у неоднорідному електричному полі, конструкція електроочищувача.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

порівняльні таблиці, графіки

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Збір та аналіз літературних даних	10.01.22-16.01.22	виконано
2	Написання розділу I	17.01.22-23.01.22	виконано
3	Написання розділу II	24.01.22-30.01.22	виконано
4	Написання розділу III	31.01.22-06.02.22	виконано
5	Написання висновків	07.02.22-13.02.22	виконано
6	Оформлення роботи, подання на кафедру та усунення недоліків	14.02.22-22.02.22	виконано

8. Дата видачі завдання: “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) \_\_\_\_\_ Романенко В. Г.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Шпачинський С. М.  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи “ Електростатичний очищувач авіаційних палив та мастил ”: 121 сторінка, 36 рисунків, 7 таблиць, 21 використаних джерел.

ОЧИЩУВАЧ, ПАЛИВО, МАСТИЛО, ФІЛЬТР, СЕПАРАТОР, НАСОС, ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИЙ ОЧИСНИК.

Об'єкт дослідження – електростатичні очищувачі діелектричних рідин, предмет дослідження – технічні характеристики конструкції електростатичного очищувача діелектричних рідин.

Мета дипломної роботи – розробити електроочищувач для очищення діелектричних речовин у неоднорідному електричному полі з попередньою фільтрацією грубого очищення та сепарацією води.

Метод дослідження – аналіз існуючих розробок та досягнень науки.

Встановлено, що залежно від конструктивних особливостей існуючих очищувачів авіаційних палив та мастил, електростатичні очищувачі мають переваги. Нові електроочищувачі в порівнянні з існуючими фільтрами забезпечують більш високу (в 2 - 2 5 рази) ступінь очищення рідин, володіють на один-два порядки більш високою брудоемністю і дозволяють проводити регенерацію без розбирання та демонтажу очищувача.

Матеріали дипломної роботи рекомендуються використовувати для проведення наукових досліджень в області гідравліки і для технічних працівників авіаційних компаній що займаються комерційним обліком витрати нафтопродуктів.

Можна припустити, що результати аналізу проведеного в цій дипломній роботі рекомендується використовувати для подальшої дослідницької і конструкторської роботи, спрямованої на поліпшення характеристик електростатичних очищувачів та у навчальному процесі.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
Глава 1. Огляд літератури з очищення рідин у силових полях .....	11
1.1. У магнітному полі.....	11
1.2. В електричному полі.....	14
1.3. У відцентровому полі.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4. У гравітаційному полі.....	20
1.5. Фільтри та фільтроелементи для очищення рідин .....	23
1.6. Класи чистоти рідин.....	28
Глава 2. Очищення рідини у неоднорідному електричному полі .....	40
2.1. Принцип дії електроочисника.....	40
2.2. Особливості неоднорідного електричного поля .....	49
2.3. Функціональна схема електроочисника та принцип її роботи .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Глава 3. Конструкція електроочищувача.....	58
3.1. Підбір насоса та електродвигуна з комутаційною апаратурою. Схема підключення електродвигуна .....	58
3.2. Обґрунтування вибору фільтра грубого очищення та сепаратора для видалення води .....	69
3.3. Конструкція електроочищувача .....	80
3.4. Підбір високовольтного блоку живлення та випрямляча. Розробка принципової електричної схеми електроочисника.....	85
3.5. Опис установки електроочисника та особливостей його технічної експлуатації .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Висновки.....	105
Список літератури.....	106

## ВСТУП

Авіація у світі займає особливе місце. Повітряні судна (ПС) дозволяють дістатися найвіддаленіших і найнедоступніших місць світу. Швидкість та безпека цього виду транспорту безпосередньо залежить від якості палива, що заправляється у ПС, тому до авіаційного палива пред'являють найвищі вимоги щодо якості. Дуже важливо точно, швидко і достовірно проводити всі необхідні види контролю якості, перш ніж ПС підніметься в повітря.

Одним з важливих показників для авіапалив, і головною його проблемою є наявність води. Небажані наслідки спостерігаються навіть при незначному розчиненні вологи в паливах. У процесі зберігання, транспортування, перекачування, заправки та застосування палива обводняються, причому волога, що потрапила в них, може знаходитися в різних видах: в розчиненому; у нестабілізованому крапельно-зв'язаному стані; у вигляді емульсій та відстою.

При попаданні в авіаційні палива, вода погіршує їх низькотемпературні властивості, знижує термоокислювальну стабільність палив, підвищує їх корозійну активність, сприяє збільшенню забрудненості палив механічними частинками та продуктами окиснення, а також мікроорганізмами, погіршує протизносні властивості, знижує тепло у процесі горіння [1]. Згідно з ГОСТ 10227-2013 [2], вода та механічні домішки в реактивних паливах відсутні, але палива мають таку властивість як гігроскопічність – здатність збагачуватися вологою з повітря, тому дуже важливо стежити за кількістю води в паливі. При польотах ПС палива піддаються впливу температур, тисків і вологості повітря, що швидко змінюються. При температурах нижче за нуль вода замерзає, і дрібні кристалики льоду можуть забити паливні фільтри, що загрожує аварійною ситуацією. Для виключення таких ситуацій паливо перед заправкою зневоднюють. Існують хімічні, фізико-хімічні та фізичні методи зневоднення [3].

Найбільш різноманітні фізичні методи зневоднення, які можна поділити на три великі групи: зневоднення під впливом силових полів; зневоднення із

застосуванням пористих перегородок (фільтрація); зневоднення з використанням теплофізичних та масообмінних явищ.

Чистота є одним із найважливіших показників якості палив. Чим менше забруднень у паливі, тим більше надійна паливна система та більший термін служби її агрегатів та авіадвигунів.

Перш ніж потрапити до баків, паливо проходить тривалий шлях від нафтопереробного підприємства до повітряного судна. Фактично шляхи транспортування, наливні транспортні засоби та фільтраційні об'єкти можуть бути різними залежно від потреб конкретного транспортного маршруту. З паливного складу паливо доставляється до повітряних суден за системою гідрантів та пересувними транспортними засобами. Реаліями сьогодення є робота з віддаленого паливного складу від місця виробництва заправки ПС. Небезпека порушення якості палива, його забруднення можуть виникнути у будь-якій ланці ланцюга поставок на шляху від виробника до бака повітряного судна, з можливими негативними наслідками для паливної системи повітряного судна, паливних баків та двигунів ПС.

Основними видами забруднення є забруднення водою, твердими частинками, мікробіологічним матеріалом та поверхнево-активними речовинами, такими, як, наприклад, виявлені останнім часом полісилоксани. Утворені в паливній системі повітряного судна домішки із полісилоксанів можуть призводити до припинення роботи силових установок повітряного судна за рахунок зниження пропускної спроможності паливних фільтрів аж до нульових значень. Також є ризик відкладення не полімеризованих сполук полісилоксанів на лопатках двигуна ВС, що може призвести до їх місцевого перегріву і подальшого руйнування [1].

Крім того, забруднювачами можуть бути інші сорти палив та хімічні речовини, які можуть бути присутніми у багатопродуктових транспортних системах.

Забруднення в паливах за агрегатним станом можуть бути твердими, рідкими, пластичними та газоподібними.

Тверді забруднення (механічні домішки) знаходяться у паливах у вигляді суспензії або суспензії з розмірами частинок, характерними для дрібнодисперсних систем. Вони складаються з мінеральних частинок та органічних речовин, що включають глибокоокислені сірчисті, азотисті та інші органічні сполуки, зазвичай агрегатовані з мікрокраплями емульсійної води.

Механічні домішки потрапляють у палива у вигляді атмосферного пилу через дихальні або дренажні пристрої при надходженні запиленого повітря в газовий простір резервуарів, транспортних цистерн, а також утворюються в результаті корозії металів, абразивного та фрикційного зносу пар, що труться.

Вода та смолисті речовини перебувають у паливах у розчиненому чи вільному стані. Вільна вода є у вигляді емульсії з розміром крапель від часток до одиниць мікрометра або у вигляді окремої фази (підтоварної води). Основне джерело обводнення палив - контактування з вологим повітрям, що надходить у резервуар або при зливних операціях, або за добових коливань температури. Джерелами утворення кисневмісних смолистих речовин є сірчисті, азотисті домішки, сполуки з ненасиченими зв'язками. Нерозчинні кисневмісні сполуки знаходяться у паливах у вигляді асоціатів колоїдних розмірів, сольватованих іншими гетероорганічними сполуками. Найбільш активні в процесах утворення асоціатів і міцел високомолекулярні кисневмісні сполуки (смоли). Розмір асоціатів полярних сполук становить приблизно 20-50 нм.

В'язкопластичні забруднення являють собою продукти окиснення високомолекулярних сполук нафти та мікробіологічні забруднення (бактерії, мікроби, грибки та продукти їх життєдіяльності).

Газоподібні забруднення - це повітря і гази, що знаходяться в паливі в розчиненому стані або у вигляді емульсії з розмірами бульбашок близько кількох мікрометрів. При високому вмісті повітря у паливі може утворюватися піна.

Присутність у паливах забруднень призводить до негативних технічних, економічних та екологічних наслідків. Погіршуються експлуатаційні характеристики техніки, виникають несправності та відмови при її роботі.



Застосування забруднених палив погіршує екологію навколишнього середовища внаслідок неповного згоряння палива, порушення температурного режиму роботи двигуна та збільшення токсичних речовин у газах, що відпрацювали.

Механічні домішки у паливах для реактивних двигунів негативно впливають на роботу відповідальних деталей, вузлів та агрегатів паливної системи літальних апаратів. Забруднення в паливних баках призводять до виходу з ладу поплавкових клапанів та збоїв у роботі автоматичної системи керування заправкою баків. Забруднення викликають передчасне забиття паливних фільтрів, знос, задир і заклинювання робочих органів паливних насосів, відкладення в трубках паливомасляного радіатора та перегрів олії. Вкрай небажана присутність в авіаційних паливах вільної води. Небезпечні кристали льоду, що утворюються в паливі при негативних температурах при польоті на висотах більше 5-6 тис. м. Відбувається забивання кристалами льоду паливних фільтрів і приймальних сіток паливопідкачувальних насосів з частковим або повним припиненням подачі палива.

У гідроприводах робочим тілом, за допомогою якого енергія від її джерела передається виконавчим механізмам, що приводить у дію технологічне обладнання, є рідина. Робоча рідина виконує також цілий ряд інших, не менш важливих функцій, що забезпечують функціонування гідравлічних приводів.

З часом експлуатації вони втрачають свої властивості, і при несвоєчасному їх заміні, швидкість зношування деталей збільшується. Для гідравлічного масла достатньо використовувати лише очисні установки. Відновлення моторних масел, крім очисних установок, потрібне його дозування новим маслом або матеріалами присадки.

Для продовження терміну служби олії використовують очисні установки, які вибираються в залежності від властивостей та характеристик олії. Так само властивості олії впливають на час його очищення та спосіб очищення.

Умовно забруднюючі домішки можна розділити на неорганічні та органічні домішки, які є продуктами зміни вуглеводнів самої олії у процесі його використання, а також є продуктами неповного згоряння палива.

Безвідмовність та технічний ресурс насосів, гідромоторів, гідроциліндрів, направляючих та регулюючих гідроапаратів, що встановлюються на мобільних машинах та стаціонарному виробничому обладнанні, залежать насамперед від експлуатаційних властивостей та чистоти робочих рідин. Застосування гідрообладнання високого класу точності, що має зазори між рухомими деталями в межах 3...20 мкм, висуває підвищені вимоги до очищення гідросистем машин та чистоти робочих рідин [1], [2].

Для очищення олії застосовують фільтри, встановлені в гідросистемі. Вони знижують зношування і продовжують термін дії деталей, залежно від коефіцієнта очищення рідини, але такої очищення недостатньо.

З появою потреби в очищенні стало необхідним розробка і використання установок, заснованих на різних методах очищення. Слід зазначити, що таких установок з'явилося багато в різних виконаннях та різноманітного принципу дії. Однак, основними є фільтроелементи, центрифуги та установки, що використовують різні адсорбенти. В останні роки набуває поширення електростатичний метод. [2].

# ГЛАВА 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ОЧИЩЕННЯ РІДИНИ В СИЛОВИХ ПОЛЯХ.

Очищення в силовому полі (відцентровому, гравітаційному, магнітному) здійснюється за рахунок різної силової взаємодії твердих частинок і рідини з полем, внаслідок чого вони рухаються в очиснику по різних траєкторіях, що дозволяє виводити тверді частинки з потоку рідини.

## 1.1. У магнітному полі.

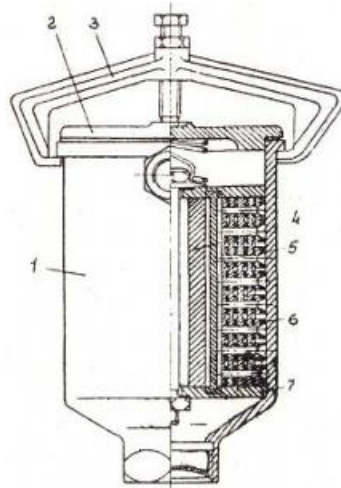
Очищення рідини в силових полях від феромагнітних частинок забруднень може проводитись магнітними очисниками. Для створення магнітного поля застосовуються постійні магніти або електромагніти, проте на практиці використовуються головним чином постійні магніти, що дозволяють при однакових габаритних розмірах та масі магнітного очисника створити більш високу напруженість поля.

Магнітне очищення робочої рідини гідросистем дозволяє видаляти дрібні феромагнітні частинки, що забруднюють, розміром 0,5—5 мкм, наявність яких призводить до забруднення фільтрів тонкого очищення (особливо паперових), значно знижуючи термін їх служби. Крім того, такі частинки є активним каталізатором при окисненні робочої рідини, зменшуючи термін служби в гідроприводі. Крім феромагнітних частинок, магнітні фільтри вловлюють органічні забруднення, абразивні частинки, пісок та інші забруднення. Цьому сприяє ефект електризації немагнітних частинок.

Теоретичних залежностей для розрахунку магнітного очищення робочих рідин немає. Взаємодія забруднюючої частинки з магнітним полем та з додатковими силами, що діють у ньому (гравітаційні, інерційні та ін.), визначається емпірично.

У промислових гідроприводах для магнітного очищення використовують тільки постійні магніти, оскільки застосування електромагнітів значно

ускладнює та здорожує обслуговування фільтрів та збільшує їх масу та габаритні розміри. Однак електромагнітні фільтри можна використовувати для централізованого очищення робочих рідин, наприклад, на пересувних станціях для обслуговування гідросистем.



*Рисунок 1.1.1. Конструкція магнітного очисника*

*1 – корпус; 2 – кришка; 3 – траверси; 4 – трубчастий магніт; 5 – латунна трубка; 6 – феромагнітна вставка; 7 – шайба.*

Вплив на паливо змінного чи постійного магнітного поля. Паливо обробляють з метою руйнування структурних (агрегативних) систем (обробка в змінному магнітному полі) або з метою орієнтації молекул палив (або присадок молекул) у певному напрямку. У ряді випадків магнітна обробка в змінному магнітному полі використовується спільно з гідродинамічною обробкою для посилення гомогенізуючого (або диспергуючого) ефекту обробки палива.

Техніко-економічний ефект досягається за рахунок підвищення ступеня використання матеріальних ресурсів, поліпшення якості продукції та невисокої вартості магнітної обробки, та значно дешевше за хімічне очищення.

У гідравлічній системі, оснащений магнітним фільтром, спостерігається ефект коагуляції феромагнітних частинок забруднюючі частинки, пройшовши через магнітне поле фільтра, намагнічуються та утворюють агломерати. Встановлено [63], що частинки розміром 0,5-1 мкм утворюють агломерати розміром до 50 мкм, які осідають під дією гравітаційного поля або видаляються фільтрами

тонкого очищення або при повторному проходженні через магнітний фільтр. Агломерати, що утворилися, розміром 20, 30, 50 мкм не становлять небезпеки для гідравлічного обладнання, так як під дією більш потужних сил (наприклад, у зазорах) вони розпадаються на вихідні забруднюючі частинки, а потім у сприятливих умовах знову утворюють агломерати. Магнітні фільтри для очищення робочої рідини слід встановлювати на всіх гідроприводах.

У магнітному сепараторі очищення робочої рідини від завислих у ній феромагнітних частинок відбувається під дією магнітного поля. Основним робочим (активним) елементом сепаратора є магніт. До освоєння промисловістю потужних постійних магнітів магнітні сепаратори застосовували головним чином як магнітних пробок у днищах картерів двигунів внутрішнього згоряння і резервуарів окремих гідросистем.

До магнітних елементів сепаратора спочатку притягуються феромагнітні частки. Згодом орієнтовані магнітному полі частинки утворюють щітки з спрямованими вздовж силових ліній волосками. Подальший зростання щіток призводить до утворення концентрованої зони навколо всього пакета магнітних елементів, в якій затримуються неметалеві частинки, і в першу чергу волокна. Неметалічні частинки, що накопичуються на феромагнітних волосках, послаблюють силу тяжіння до магнітних елементів, збільшують опір потоку робочої рідини, внаслідок чого виникають скидання осаду в гідравлічну систему. Явище скидання особливо помітно в період запуску гідравлічного приводу, коли робоча рідина, що знаходиться в зоні дії магнітного сепаратора, отримує прискорене переміщення.

Для захисту гідросистеми від скидання осаду, а також для підвищення якості очищення (номінальної тонкощі фільтрування та коефіцієнта фільтрування) магнітні сепаратори здебільшого застосовують разом із фільтруючими елементами механічних фільтрів.

При експлуатації магнітних очищувачів напрямок силових ліній магнітного поля повинен співпадати з напрямком потоку рідини, що очищається, режим руху якого повинен бути ламінарним (рух частинок по паралельних лініях з

певною малою швидкістю), що забезпечує максимальне утримання феромагнітних частинок в очищувачі.

До переваг магнітних очисників відноситься можливість уловлювання дрібних феромагнітних частинок (до 0,5 мкм), які практично не затримуються іншими засобами очищення. Необхідність видалення таких частинок пов'язана з їх каталітичним впливом на процеси окислення нафтопродуктів, зокрема мастил, і сприяють виникненню в цих нафтопродуктах інкреторних забруднень. Нестача магнітних очищувачів – вузька область їх застосування, обмежена очищенням нафтопродуктів лише від феромагнітних забруднень чи агрегованих із нею частинок.

## **1.2. У електричному полі.**

В даний час створено електроочисники різноманітних конструкцій. Механізм видалення часток забруднень в електричному полі обумовлений наявністю подвійного електричного шару на поверхні частинок, що складаються з високополярних молекул та їх асоціатів. В електричному полі такі частинки неминуче рухаються до електродів. Механізм коалесценції води в електричному полі пояснюється перерозподілом нейтральних зарядів емульгованих крапель води в диполі, що орієнтуються вздовж силових ліній поля, притягуються один до одного та агрегуються. Досить великі краплі води випадають у відстійну зону. Процесу коагуляції мікрозабруднення та коалесценції води сприяє міжмолекулярне тяжіння, сили якого збільшуються при зближенні крапель води та частинок забруднень.

Електричне поле, яке створюється для очищення рідин від забруднень, може бути однорідним або неоднорідним, що визначає конструктивне виконання електроочисників. При використанні магнітного поля розрізняють очищувачі з постійним магнітом і електромагнітом, а при використанні вібраційного поля - очищувачі, що створюють механічні або ультразвукові коливання. Очищення рідин фільтруванням здійснюється у фільтрах різної конструкції, що

розрізняються пристроєм корпусу фільтра і фільтруючого елемента, характеристиками фільтруючого матеріалу і багатьма іншими факторами.

Ідея електростатичного методу полягає в пропусканні масла через електричне поле [3], при якому полярні частинки осаджуються на електроди, що створюють це поле (процес електрофорезу), а нейтральні частинки, завдяки спеціальному елементу (гофрований папір), що знаходиться між електродами, який спотворює електричне поле, що осідають на цьому елементі в місцях найбільшої напруженості (діелектрофорез) рисунок 1.2.1.

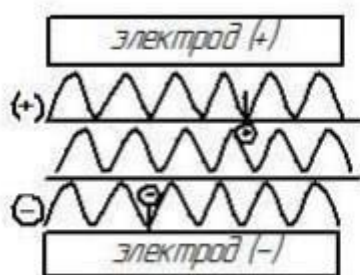


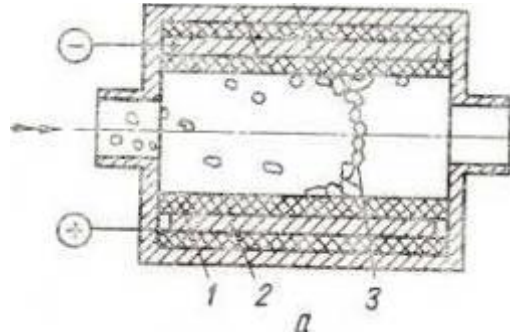
Рисунок 1 - Диелектрофорез

*Рис. 1.2.1. Диелектрофорез*

Моторне масло та паливо є діелектриками, і тому їх можна очищати від забруднюючих домішок в електростатичному полі дією сил електричного тяжіння.

Перевагами процесів очищення рідин в електричному полі є: їхня безперервність, менші габаритні розміри апаратів порівняно з відстійниками; відсутність рухомих частин, характерних відцентрових очисників; сталість пропускної спроможності та гідравлічного опору, що змінюються в процесі експлуатації фільтрів; відсутність втрат олії із забрудненнями, можливість повної автоматизації процесу очищення. У той же час для такої очистки потрібні досить складна апаратура та значні потужності, що у багатьох випадках ускладнює застосування цього методу. Це пов'язано з тим, що при описі механізму електроосадження в більшості випадків враховується дія на частину тільки кулонівської сили, що дуже приблизно, так як не береться до уваги різноманіття процесів, що відбуваються в просторі між електродами. У належній мірі не

вивчено питання наведення електростатичних зарядів у матеріалах, що застосовуються для ізоляції електродів, що призводить до перезарядки частинок забруднень та сприяє їх виносу з очисника, внаслідок цього ефективність його роботи знижується.



*Рисунок 1.2.2 – Найпростіша схема електроочисника:*

*1 – шар електроізоляції; 2 – металева пластинка; 3 – «ланцюжки» частинок забруднення.*

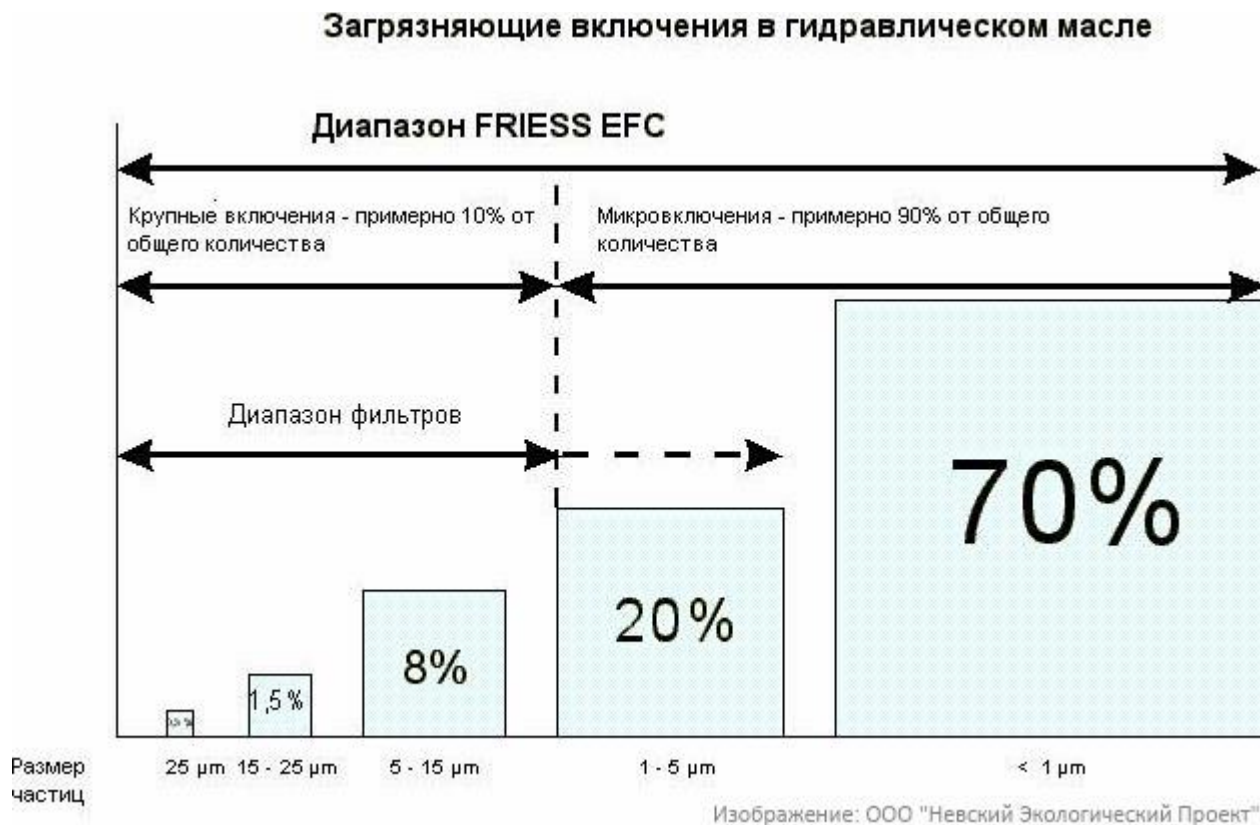
Установка для очищення масла електростатичним методом являє собою невеликий пересувний модуль, що чистить, який прокачує масло з маслобака через фільтри електростатичного очищення і повертає його в систему, робота в безперервному циклі. Під час очищення, у кожний момент часу, з бака видаляється не більше 60 літрів олії, що дозволяє очищати олію безпосередньо в процесі роботи, виключаючи операцію зливу та подальшого заповнення обладнання олією.

Застосування установки безпосередньо на гідрофікованій машині забезпечує глибоке очищення від забруднень, включаючи найбільш агресивні заряджені та дипольні частинки, що складаються з металу, скловолокна, продуктів окиснення олії, до субмікронного рівня, і запобігає іскрінню в маслі порівняно зі звичайними фільтрами. Олія в процесі очищення сама поступово розчиняє та очищує від забруднень внутрішні поверхні обладнання та масляної системи. Це зменшує ризик відмови гідравлічної системи, а також продовжує термін служби олії.

Для підвищення якості очищення необхідно осушувати олію до вмісту води не більше 500 ppm (на кожний 1 м<sup>3</sup> масла становить 500 мл води).



Основною причиною відмов гідрообладнання є включення діапазону 5-1 мкм та менше, які становлять 70% від загальної кількості включень. Частинки менше 3 мкм дуже складно видаляються класичною фільтрацією, а ресурс тонких



*Рис.1.2.3. Забруднюючі включення в гідравлічному маслі*

фільтрів дуже малий. Електростатичне очищення олії дозволяє ефективно боротися із проблемою. Завдяки дії електростатичного поля знімається обмеження на мінімальний розмір включень, що видаляються, аж до 0,05 мкм.

Електростатична очистка розрахована на всі типи включень (пісок, гума, метал, пластик, в'язкі смоли тощо). Всі розчинні рідкі добавки в маслі зберігаються, тому що електростатична сила діє тільки на заряджені поверхні поділу середовищ. Для видалення вільної води з масла застосовуються спеціальні фільтри або вакуумування.

### 1.3. У відцентровому полі.

Відцентрові очищувачі (центрифуги), у яких очищення рідин від твердих частинок здійснюється під дією сил відцентрового поля. Як у відстійниках, так і в центрифугах рідина очищається тільки від тих частинок, щільність яких більша за щільність рідини.

Для створення відцентрового поля для очищення нафтопродуктів використовуються апарати двох типів - нерухомі, в яких обертається потік нафтопродукту, та обертові, в яких нафтопродукт рухається разом із ротором апарату. Пристрої першого типу отримали назву гідроциклонів, а другого центрифуг (відцентрових сепараторів).

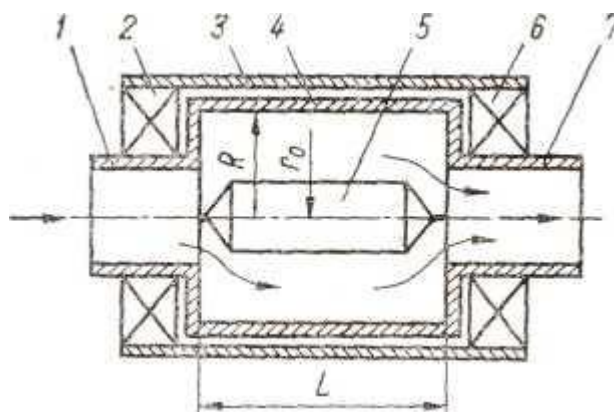


Рисунок 1.3.1. Схема відцентрового очисника

1 – патрубков для входу забрудненої рідини; 2, 6 – опорні підшипники; 3 - корпус очисника; 4 – ротор; 5 – центральне тіло; 7 – патрубков для виходу чистої води.

У гідроциклонах відцентрова сила виникає при закручуванні потоку нафтопродукту, що надходить у нерухомий корпус циліндричної, циліндроконічної або конічної форми. Залежно від способу підведення нафтопродукту та конструкції пристрою, що закручує потік, гідроциклони можна розділити на апарати з бічним підведенням (тангенціальним або спіральним) та апарати аксіального типу (з завихрювачами у вигляді гвинта або розетки).

Центрифуги відносяться до апаратів, у яких відцентрова сила виникає в результаті обертання рухомої частини апарату - ротора, що приводиться в рух від стороннього джерела електроенергії за допомогою електричного, механічного, гідравлічного, пневматичного приводів або шляхом використання для цієї мети енергії потоку нафтопродукту із застосуванням соплового пристрою. Конструкції центрифуг, що застосовуються для очищення нафтопродуктів, різноманітні та розрізняються як важливими особливостями пристрою апарату, і компоновкою окремих вузлів.

Центрифуги можуть бути товстошаровими (з трубчастим ротором) і тонкошаровими (з циліндричними, конічними, спіральними, радіальними вставками). Рух нафтопродукту в центрифугі може здійснюватися паралельно утворює ротора, у площині його поперечного перерізу або під кутом до його осі, по гвинтовій лінії тощо.

Підведення нафтопродукту до ротора виконується осьовим або радіальним (по всій довжині ротора), причому напрямок потоку в другому випадку може бути з центру до периферії або навпаки.

Найбільш простий пристрій мають товстошарові (трубчасті) центрифуги з ротором у вигляді пустотілого циліндра, в яких рух нафтопродукту може здійснюватися вздовж осі ротора або в перпендикулярному до неї напрямку. Товстошарові центрифуги застосовуються тільки для досить грубого очищення нафтопродуктів від часток великого розміру, оскільки через значну відстань між ротором та стінкою центрифуги порівняно дрібні частинки не встигають досягти стінки та відносяться потоком нафтопродукту.

Для покращення тонкощі очищення створені тонкошарові центрифуги, в яких ротор за допомогою вставок різної конструкції (циліндричних, конічних, спіральних та інших) розділений на окремі камери, радіальні розміри яких значно менші, ніж у товстошарових центрифугах, що зменшує довжину траєкторії частинок забруднень. Ефективність очищення в таких пристроях підвищується також завдяки зменшенню ковзання нафтопродукту щодо ротора, яке відбувається в товстошарових центрифугах.

Значні труднощі є центрифугування масел, що застосовуються як робочі рідини для авіаційних гідравлічних систем. Цю операцію проводять на наземних стендах, і здебільшого її потрібно здійснювати за один прохід рідини через центрифугу. Центрифуги з реактивним приводом незважаючи на простоту їх конструкції та високу надійність не отримали в цих умовах широкого поширення через неможливість відокремити від мастил частинки розміром менше 30 мкм. Очищення гідравлічних масел з тонкістю 5 мкм за один прохід зажадала використовувати для обертання ротора центрифуги активний привід, як найбільш часто служать гідравлічний, електричний двигун або пневмотурбіна. Деякі конструкції центрифуг з активним приводом, які застосовуються для очищення гідравлічних масел, описані в роботі. [29]

#### **1.4. У гравітаційному полі.**

Найпростіший спосіб зневоднення нафтопродуктів — їхнє відстоювання в гравітаційному полі. Дану операцію можна здійснювати у звичайних резервуарах для зберігання нафтопродуктів, які працюють як статичні відстійники періодичної дії, причому одночасно з водою з нафтопродукту видаляються і тверді частинки, тому зневоднення нафтопродуктів шляхом відстоювання знаходить широке застосування.

Недолік способу – тривалість процесу. Для скорочення часу зневоднення застосовують динамічні відстійники, відцентрові очисники та фільтри-сепаратори з пористими перегородками.

Гравітаційне очищення засноване на явищі осадження твердих сторонніх частинок у полі сил тяжіння. Осаду здійснюється в апаратах періодичної або безперервної дії, які називаються відстійниками. Ефективність гравітаційної очистки залежить від різниці щільностей твердих частинок та рідини, від розміру частинок, від кінематичної в'язкості рідини, від характеру руху рідини у відстійнику, а також від конструктивних особливостей відстійника.

Продуктивність гравітаційної очистки визначається площею поперечного перерізу відстійника і залежить від висоти освітленого шару рідини.

На тверду частину або мікрокраплю води, що знаходиться в нафтопродукті, діють гравітаційна сила (сила тяжіння) і виштовхувальна (архімедова) сила, розташовані у вертикальній площині та направлені у протилежні сторони. Їхня результуюча сила називається об'ємною. Під дією цих сил відбувається випадання завислих у нафтопродукті забруднень; такий процес отримав назву відстоювання чи седиментації. Ефективність очищення нафтопродуктів від твердих забруднень шляхом відстоювання залежить від їхньої щільності, а також від щільності та в'язкості нафтопродукту, розмірів частинок забруднень та їх концентрації. При осадженні крапель води необхідно враховувати як її щільність, а й в'язкість.

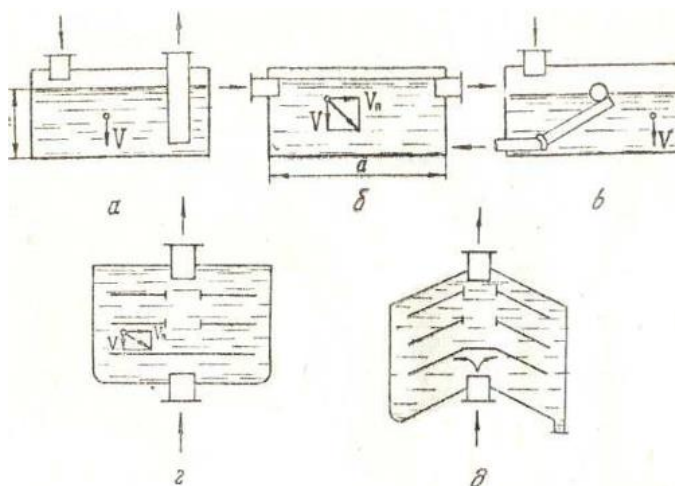


Рисунок 1.4.1. Схеми різних ГО:

*а - статичний очисник; б - динамічний прямоточний очисник; в-резервуар з верхнім пристроєм забору рідини; г - тонкошаровий ГО з плоскими тарілками; д - тонкошаровий ГО з конічними тарілками.*

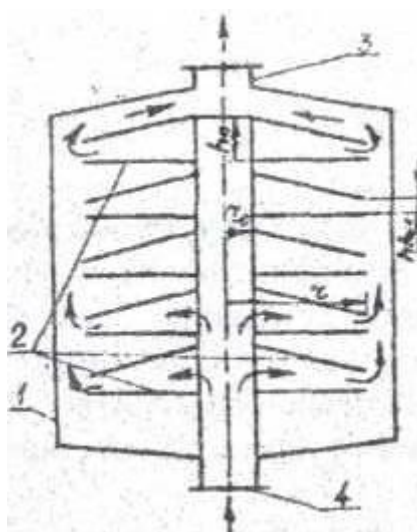
Зазвичай нафтопродукти являють собою малоконцентровані суспензії, в яких тверді забруднення містяться в порівняно невеликих кількостях, тому при осіданні окремих частинок немає їх взаємодії між собою (відбувається так зване вільне осадження). При русі частинки вертикально вниз крім об'ємної сили неї

діє також сила опору рідкої середовища, що перешкоджає руху частки, тобто спрямована вертикально вгору.

Сила опору рідкого середовища залежить від щільності і в'язкості нафтопродукту, а також від розміру частинки, що осаджується, її форми і характеру руху. Ламінарне обтікання рідиною частинки характерне для малого розміру частинок і значної в'язкості нафтопродукту. При цьому сила опору рідкого середовища дорівнює сумі всіх елементарних сил тертя між частинкою і прикордонним шаром, що обтікає її.

Механізм осадження мікрокрапель води в нафтопродукті при гравітаційному очищенню відрізняється від механізму осадження твердих частинок через різний фазовий стан цих забруднень.

Дія гравітаційного поля на мікрокраплі води, емульгованої в нафтопродукті, засноване на укрупненні цих крапель під впливом об'ємної сили та подальшому випаданні укрупнених крапель у відстійну зону.



*Рисунок 1.4.2. Схема ГО із нахиленими осаджувальними пластинами*

Експериментально встановлено, що краплі води діаметром 15-20 мкм осідають у паливі ТС-1 на глибину 1м протягом 10 год, а краплі розміром близько 5 мкм зберігаються в паливі у зваженому стані близько 7 діб, тоді як за існуючими нормами час відстою авіаційних палив на складах пального

аеропортів у резервуарах висотою зливу 2.8 м і 19 год. Проте за цей час емульгована вода в паливі повністю з нього не видаляється.

Ефективність зневоднення нафтопродуктів методом відстоювання значно меншою мірою залежить від наявності конвекційних струмів у резервуарі, навпаки, при цьому процес відстоювання інтенсифікується. Однак при сильному нагріванні нафтопродукту може спостерігатися зворотний процес - дроблення крапель та погіршення процесу відстоювання.

Головними перевагами відстійників є простота конструкції, безшумність у роботі та мала енергоємність. Недоліки відстійників – громіздкість, неможливість отримання щільного осаду шламу та низька швидкість очищення від дрібнодисперсних частинок.

### **1.5. Фільтри та фільтроелементи для очищення рідин.**

Фільтрами називають пристрої, у яких очищення рідин здійснюється у процесі їх протікання через перегородку, що має наскрізні мікроканали (пори). Перегородка, що фільтрує, є найважливішою частиною будь-якого фільтра, може затримувати тверді частинки або своєю поверхнею з утворенням осаду, або внутрішньою звивистою поверхнею мікроканалів. Відповідно до цього розрізняють поверхневе та глибинне фільтрування. Рушійною силою процесу фільтрування є різниця значень тиску по обидва боки, що зустрічається потоком рідини при її проходженні через шар осаду, що утворюється, і через перегородку.

Фільтри є універсальними пристроями для очищення рідин від твердих забруднень, ефективність застосування яких не залежить від властивостей частинок і пов'язана виключно із співвідношенням їх розмірів з розміром пір фільтруючої перегородки. На роботу фільтрів істотно впливають властивості рідини, що очищається (в'язкість, електропровідність, присутність у ній поверхнево-активних речовин і т. д.).

У фільтрах використовують різні фільтруючі матеріали: металеві сітки, металеві пластинки, тканину, повсть, папір, просочену маслостійкими смолами, пластмасу, металокераміку, пористі металеві порошки. Крім фільтрів механічного очищення, застосовують відцентрові очисники, магнітні та електростатичні фільтри. Фільтри в гідроприводі встановлюють залежно від їх призначень та умов роботи або послідовно або паралельно, і переважно в напірних магістралях, в легкодоступних місцях.

За способом отримання фільтруючі матеріали поділяють на великі групи: ткані і неткані. Фільтрувальні тканини (текстильні матеріали) складаються зі скручених пасм, що утворюють геометрично правильний візерунок. Для виготовлення фільтрувальних тканин використовують природні та штучні волокна.

Неткані фільтруючі матеріали поділяють на три великі групи: волокнисті, зернисті та мембранні. До волокнистих відносять матеріали, виготовлені з текстильних, целюлозних, азбесто-целюлозних та синтетичних волокон; папір з різних волокон та ін. Волокна закріплюють голкопробивним, холстопробивним та клейовим способами. Товщина волокон змінюється не більше 0,01-100 мкм.

Зернисті фільтруючі порошки виготовляють з різної мінеральної сировини (наприклад, кварцу, діатоміту, шамоту), скла, металів та сплавів, коксу, синтетичних полімерів та інших матеріалів.

Особливу групу фільтрів складають пористі та непористі напівпроникні мембрани, що виготовляються з полімерної плівки, металевої фольги та ін. Мембрани дозволяють відокремлювати колоїдні домішки та мікроорганізми.

За тонкістю очищення всі фільтри можна розділити на фільтри грубого та тонкого очищення.

Фільтри грубої очистки. До фільтрів грубої очистки відносяться фільтри, що дозволяють відокремлювати частинки забруднень розміром більше 60 мкм. Великі зливні стружки відокремлюються за допомогою решіток та сіток, що встановлюються на зливі. Більш дрібні частинки відфільтровуються приймальними сітчастими, пластинчастими та насипними фільтрами.



Прийомні сітчасті фільтри як елемент, що фільтрує, містять мікросітку квадратного або саржевого плетіння.

Сітки виготовляють із латуні, фосфористої бронзи, міді, звичайної сталі, нікелю та інших матеріалів. Прийомні сітчасті фільтри виконують занурювальним. Їх встановлюють на всмоктувальних лініях з таким розрахунком, щоб нижня кромка сітки знаходилася від дна резервуара на відстані, що дорівнює потрійному діаметру трубки, що всмоктує. При високих витратах рідини рекомендується з'єднувати кілька фільтрів паралельно. Прийомні сітчасті фільтри забезпечують очищення рідини від великих домішок (80-500 мкм).

Сітчасті фільтри призначені для грубої очистки мінеральних масел на магістральних лініях. До голівки фільтра за допомогою стяжної шпильки та кришки прикріплено пакет фільтруючих елементів, що мають форму плоских дисків.

Щілинні (пластинчасті) фільтри призначені для грубої очистки мінеральних масел. Очищення цих фільтрів здійснюється при проходженні рідини через щілини, утворені пластинами, стрічками або дротиками.

Фільтри встановлюються на магістральних лініях. Недоліки фільтрів – мала брудомісткість і викликана цим необхідність частого очищення від шламу.

Фільтри тонкої очистки. Фільтри тонкого очищення, що відокремлюють від рідини частинки забруднень розміром менше 60 мкм, за структурою перегородки, що фільтрує, поділяють на дві великі групи: фільтри з цільною еластичною пористою перегородкою і фільтри з наливними шарами з пилоподібних матеріалів. Матеріал цілісних еластичних перегородок – фільтрувальні тканини чи фільтрувальні папери. Фільтротканини виготовляють з натуральних або синтетичних волокон тканими і нетканими способами.

Наливний шар, що фільтрує, формується з пилоподібних або волокнистих матеріалів (діатоміту, спученого перліту, азбесту, паперової або целюлозної маси, синтетичних полімерних волокон та ін.). Наливний шар розташовується на підкладці з металевої або полімерної сітки, фільтроткани або іншого

великопористого матеріалу. Найбільш поширеними матеріалами наливних шарів є діатоміти (кізельгур, інфузорна земля, діатомова земля) та перліти. Діатоміти – це осадові породи, утворені з панцирів відмерлих одноклітинних кремнієвих водоростей – діатомей з домішкою оксидів металів. Панцирі діатомей на 75-95% побудовані із кремнезему. Пористість діатомітових частинок досягає 75% і більше.

Перліти («природне скло») є кислими вулканічними породами з дрібнокристалічною структурою. Вони майже на 90% складаються із кремнезему. Завдяки високому вмісту води та карбонатів перліти здатні спучуватися при нагріванні до 1000-1200 ° С зі збільшенням початкового об'єму в 20 разів і більше. За величиною проникності перлітові порошки перевершують діатомітові, але значно поступаються їм тонкощі фільтрації.

За способом створення перепаду тиску по обидва боки фільтруючої перегородки фільтри тонкого очищення можна розділити на: зливні (перепад створюється тиском стовпа рідини на сливі), напірні (перепад створюється напором рідинного насоса), фільтр-преси (перепад створюється зовнішнім надлишковим тиском) і вакуум-фільтри.

Зливні фільтри застосовуються для очищення водних рідин в індивідуальних та групових системах. Відрізняються простотою конструкції, проте громіздкі та малопродуктивні.

Напірні фільтри широко використовуються для тонкого очищення різних технічних рідин і встановлюються в лініях напірних систем.

Фільтр-преси різних конструкцій широко застосовуються для тонкого очищення рідин у централізованих системах. Для очищення водних рідин використовують автоматичні стрічкові фільтри.

Вакуум-фільтри можуть застосовуватися для очищення малов'язких та деяких водних рідин у групових та централізованих системах. Ступінь очищення від забруднень у вакуум-фільтрах не перевищує, як правило, 80%, але питома продуктивність очищення найвища. Продуктивність листових і наливних фільтрів у 1,2-1,5 рази, а фільтр-пресів у 1,5-2,5 рази нижча за продуктивність

вакуум-фільтрів. Тонкість очищення у вакуум-фільтрі визначається фільтруючими властивостями пористого елемента. Конструктивних різновидів вакуум-фільтрів багато, проте, найбільшого поширення набули барабанні, дискові та стрічкові фільтри.

Барабанні вакуум-фільтри застосовують для очищення рідини від частинок однорідної крупності, що повільно осаджуються, наприклад, для очищення від дрібнодисперсного шліфувального шламу.

Дискові вакуум-фільтри відрізняються від барабанних більшою поверхнею фільтрування та застосовуються для очищення значної кількості рідини.

Стрічкові вакуум-фільтри містять нескінченну резинотканеву стрічку, натягнуту на двох барабанах, і фільтрувальний стіл. Перевагою стрічкового вакуум-фільтра є те, що напрямок руху потоку при фільтруванні збігається з напрямком дії сили тяжіння. Тому спочатку на фільтрувальну тканину осідають грубі частинки, що утворюють додатковий фільтруючий підшар. Це створює оптимальні умови ведення процесу та підвищує його швидкість. До недоліків фільтра відносяться його порівняно великі розміри.

Процес очищення робочої рідини у фільтрах силової дії заснований на видаленні механічних домішок, що мають більшу питому вагу, ніж рідина, що фільтрується, впливом одного з силових полів. Залежно від виду силового поля фільтри поділяються на гравітаційні (відстійники), магнітні, електростатичні, відцентрові та вібраційні.



Рис.1.5.1. Класифікація фільтруючих елементів.

## 1.6. Класи чистоти рідини.

Якість ПММ залежить від його фізико-хімічних, експлуатаційних та екологічних властивостей, що визначають ступінь придатності до використання.

Фізико-хімічні властивості визначаються у лабораторних умовах.

Експлуатаційні властивості виявляються у процесі роботи двигуна.

Екологічні властивості виявляються при взаємодії ПММ чи їх продуктів згоряння з довкіллям.

ПММ у процесі зберігання, транспортування та заправки можуть змінювати свої властивості. Забруднення в паливі та олії негативно впливають на роботу агрегатів паливних та масляних систем ЛА. У паливних баках можуть порушитись автоматика управління заправкою та нормальною подачею палива, відбутися передчасне забивання фільтрів. Особливо чутлива до забруднень паливо регулююча апаратура реактивних двигунів.

Своєчасне очищення робочих рідин гідросистем підвищує надійність та довговічність гідравлічного обладнання, а також термін служби безпосередньо робочої рідини. При роботі на забрудненому паливі в насосах-регуляторах реактивних двигунів можуть відбуватися заїдання прецизійних пар, що викликає нестабільність запуску двигуна, коливання числа обертів або самовідключення двигуна. Забруднення в паливі призводять до інтенсивного забивання трубок паливного радіатора. Виробничий досвід показує, що тільки за рахунок якісного очищення робочої рідини довговічність гідравлічної системи та обладнання збільшується у 2 – 3 рази. Тому питанням підвищення чистоти робочих рідин в останні роки стали приділяти виняткову увагу у всіх країнах світу.

У кожній рідині присутні забруднення, «успадковані», від сировини в процесі виробництва та «придбані», тобто ті, що потрапили в рідину в результаті зношування пар тертя агрегатів, контакту з навколишнім середовищем або з'явилися в результаті фізико-хімічних змін та появи продуктів розпаду. У нафті, що є основою більшості рідких палив, моторних масел і рідин гідравлічних систем, присутні небажані компоненти, такі як ненасичені вуглеводні, асфальто-

смолисті речовини, зольні елементи, нафтові кислоти, азотні та сірчисті сполуки, тверді парафіни. У ній можуть бути стронцій, барій, марганець, титан та інші хімічні елементи.

Для забезпечення необхідного класу чистоти необхідні відповідні засоби, що забезпечують очищення палива за цим класом чистоти: фільтри, фільтри-сепаратори, центрифуги, а також методи та прилади для визначення забрудненості палива.

Класи чистоти дають безперечну перевагу та зручність. Дійсно, якщо для паливної системи літального апарату потрібно 6 або 7 клас чистоти палива, то немає потреби вимагати чистоти цього ж класу від палива, що випускається з нафтопереробного заводу. У процесі транспортування, зберігання та заправки це паливо забруднюватиметься, і всі витрати на його очищення в заводських умовах будуть невиправданими.

Підвищення чистоти палива на шляху від нафтопереробного заводу до паливної системи літака має бути східчастим.

Забруднення в авіаційних паливах призводять до передчасного забивання паливних фільтрів, зношування та заклинювання теплорегулюючої апаратури, що стало джерелом причин і катастроф літаків, тому питанням підвищення чистоти авіаційних палив в останні роки стали приділяти виняткову увагу у всіх країнах світу.

В даний час очищення нафтових палив від забруднень та води здійснюється методами відстоювання, фільтрації, центрифугування та хімічними. Найбільшого поширення для очищення авіаційних палив за умов аеропортів і літальних апаратах отримав метод фільтрації, заснований на течії палива через пористу перегородку і краплі води, що затримуються на ній. Як фільтраційні перегородки використовуються різні типи тканин, неткані матеріали, папір, сітки, кераміка, металокераміка і т.д. Аеродромні фільтри та використовувані на літаках для очищення палив являють собою апарати періодичної або напівбезперервної дії з фільтроелементами дискового, корозійного, спірального, циліндричного та інших типів.

Дослідженнями та розробкою фільтрів для очищення авіаційних палив від забруднень та емульсійної води в даний час займаються у всіх провідних країнах світу. Так, США цими питаннями займається понад 40 великих фірм, таких як Millipor Filter Corp., Fram Corp. та інші, у Великій Британії понад 10 великих фірм, таких як Millipor Filter Corp., Stream Line Filter Ltd. та інші, які досягли певних успіхів.

Своєчасне очищення робочих рідин гідросистем підвищує надійність та довговічність гідравлічного обладнання, а також термін служби безпосередньо робочої рідини [2].

Виробничий досвід показує, що тільки за рахунок якісного очищення робочої рідини довговічність гідравлічної системи та обладнання збільшується у 2 – 3 рази.

Відомо, що основні відмови гідравлічних систем обумовлені забрудненістю робочих рідин. Вирішення проблеми чистоти рідин – складне комплексне завдання, вирішувати яке можна тільки при одночасному виконанні очищення агрегатів і систем від забруднення, робочої рідини від механічних домішок та контролю забрудненості родичів [3].

Для отримання чистих авіаційних ПММ використовуються різні фільтри та фільтруючі системи. Рідини підлягають фільтрації як землі під час підготовки їх до заправки, і на борту повітряного судна у процесі роботи тієї чи іншої системи [4].

При експлуатації, зберіганні та перевезенні забруднення нафтопродуктів відбувається постійно. Основним джерелом забруднення є пил, що потрапляє в рідини через систему дренажу, при малому та великому "диханні" резервуарів, через заливні горловини при відкритій заправці баків.

Проблема забезпечення чистоти робочих рідин може бути вирішена лише за комплексного підходу. Питання захисту систем від забруднень має закладатися при проектуванні, чистота повинна повністю забезпечуватися у процесі зберігання та перевезення нафтопродуктів, при виготовленні та монтажі апаратури, постійно підтримуватись під час експлуатації.

Для вирішення проблеми чистоти робочих рідин необхідно: для кожної паливної, масляної та гідравлічної систем визначити максимально допустиму забрудненість води, при якій забезпечуються розрахункова надійність системи; розробити конструкцію приладів, що дозволяють швидко та з достатньою точністю оцінити характер та величину забрудненості рідини; мати фільтри та очищувачі, що дозволяють при малих витратах отримати чисті рідини з рівнем забрудненості нижче гранично допустимого, застосовувати конструкції агрегатів та матеріали для пар тертя, мало чуттєвий до забруднень у рідині; розробити систему заходів, що захищають рідину від забруднень при виготовленні, ремонті та експлуатації.

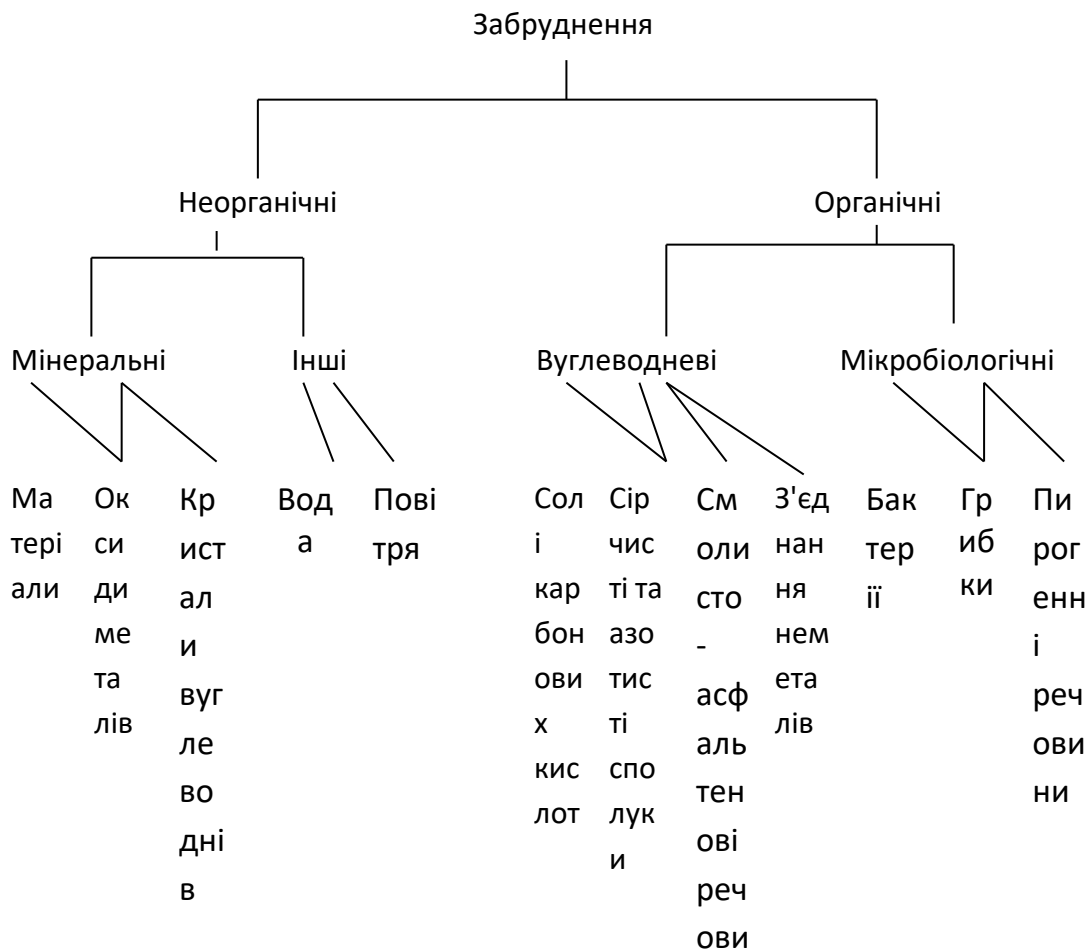


Рис. 1.6.1. Характеристика забруднень нафтопродуктів.

Для забезпечення необхідного класу чистоти необхідні засоби, що гарантують очищення палива за цим класом чистоти: фільтри, фільтри-сепаратори, центрифуги, а також методи та прилади для визначення забрудненості палив.

Запорукою надійної роботи дорогих елементів гідравлічної системи є дотримання норм забезпечення промислової чистоти та якісне очищення робочої рідини, в якій містяться частинки забруднювача – це рідкий або твердий об'єкт розміром до 200 мікрметрів або волокна завдовжки до 300 мікрметрів.

Однією з особливостей гідравлічних апаратів є малі проміжки між рухомими частинами. Частинки сторонніх речовин, присутні в робочій рідині, можуть потрапити в ці зазори і викликати заклинювання цих частин або підвищений знос. Забруднюючі частинки рідини можуть викликати поломку дорогого гідравлічного обладнання, потрапляючи в дрібні зазори, або діючи як абразив.

Розмір небезпечних частинок забруднювача відрізняється для різних елементів гідроприводу:

- для дискретних розподільників – 5...25 мкм;
- для дроселюючих розподільників та сервоклапанів – 1...3 мкм;
- для поршневих насосів – 5...40 мкм;
- для шестеренних насосів – 5...10 мкм;
- для пластинчастих насосів – 5...20 мкм.

---

**Промислова чистота** - стан виробів, елементів технологічного устаткування, що характеризується наявністю забруднювача.

Для оцінки промислової чистоти рідини використовуються стандарти ГОСТ 17216-2001 (Таблиця 1.6.1), NAS 1638 (Таблиця 1.6.2) та ISO DIN 4406 (Таблиця 1.6.3).



## Класи промислової чистоти згідно з ГОСТ 17216-2001

Залежно від кількості частинок забруднювача в 100 см<sup>3</sup> рідини ГОСТ 17216-2001 "Чистота промислова. Класи чистоти рідин" встановлені 19 класів промислової чистоти.

Таблиця 1.6.1

Клас чистоти	Число частиц загрязнителя в 100±5 см <sup>3</sup> жидкости при размере частиц мкм, не более									Масса загрязнителей %, не более	
	от 0,5 до 1	св.1 до 2	св.2 до 5	св.5 до 10	св. 10 до 25	св.25 до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200	волокна		
00	800	400	32	8	4	1	Отсутствие	Абс. отсутствие	Абс. отсутствие	Не нормируется	
0	1600	800	63	16	8	2					
1		1600	125	32	16	3					
2			250	63	32	4					1
3				125	63	8					2
4				250	125	12					3
5				500	250	25					4
6				1000	500	250	6	2	1	0,000032	
7				2000	1000	100	12	4	2	0,000064	
8				4000	2000	200	25	6	3	0,000125	
9				8000	4000	400	50	12	4	0,00025	
10				16000	8000	800	100	25	5	0,0005	
11				31500	16000	1600	200	50	10	0,001	
12				63000	31500	3150	400	100	20	0,002	
13					63000	6300	800	200	40	0,004	
14					125000	12500	1600	400	80	0,008	
15						25000	3150	800	160	0,016	
16						50000	6300	1600	315	0,032	
17							12500	3150	630	0,064	

## Класифікація чистоти рідини NAS 1638

У NAS 1638 встановлено 14 класів чистоти, залежно від розміру та кількості частинок забруднювача у 100 мл рідини.

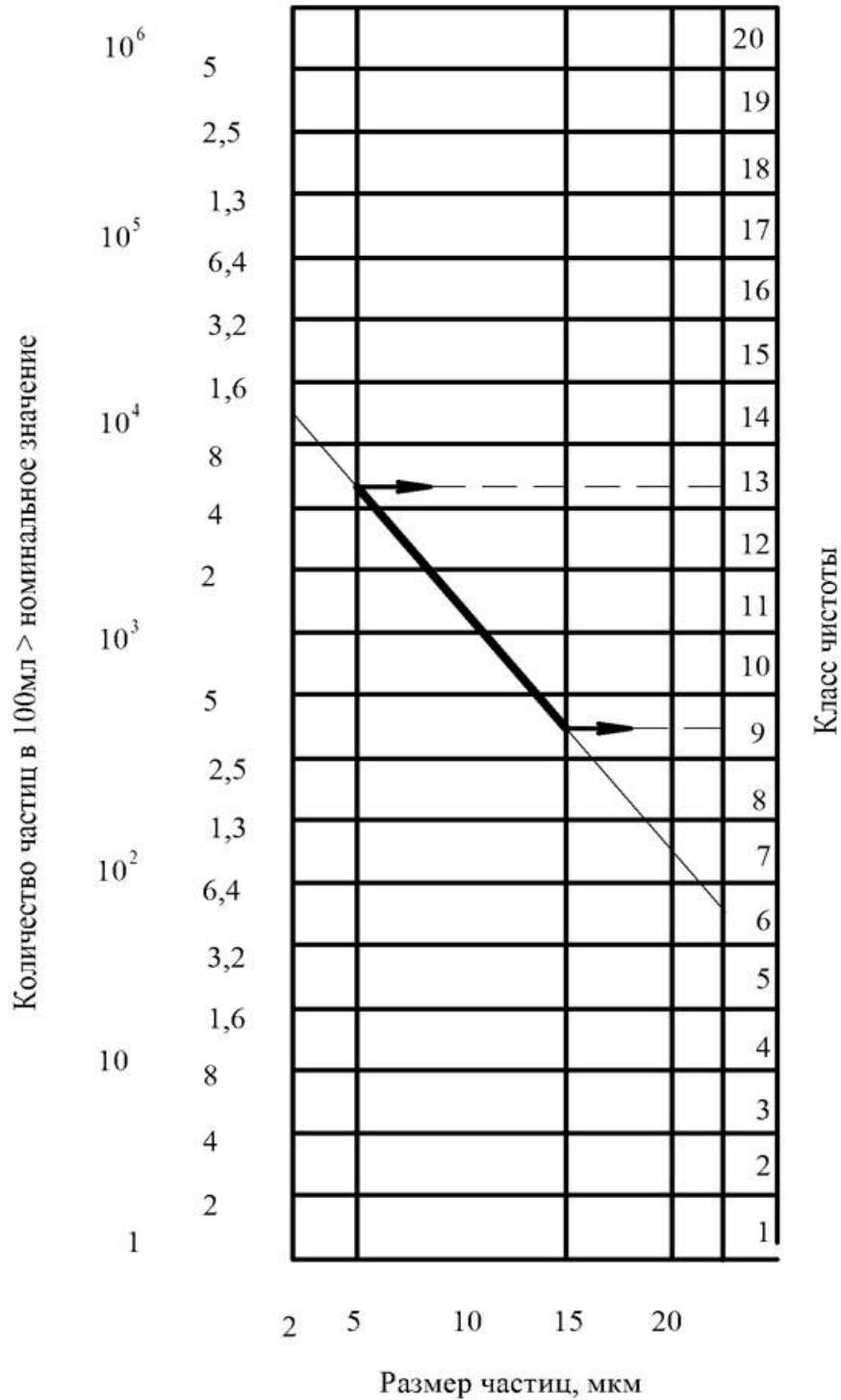
Таблиця 1.6.2

Клас чистоти	Размери частиц, мкм				
	5-15	15-25	25-50	50-100	>100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	253	45	8
6	16000	2850	506	90	16
7	32000	5700	1012	180	32
8	64000	11400	2025	360	64
9	128000	22800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	256
11	512000	91200	16200	2880	512
12	1024000	182400	32400	5760	1024

## Класифікація промислової чистоти рідини ISO DIN 4406

У цьому стандарті кількість частинок розміром більше 5 мкм і 15 10 мл рідини визначається інтегрально.

Таблиця 1.6.3



У цьому прикладі показаний клас чистоти 13/9.

Стандартом ISO DIN 4406 встановлюються 26 класів, позначення кожного з них отримує два числа:

- перше – клас для частинок розміром не більше 5 мкм
- друге – клас для частинок розміром понад 15 мкм.

Для очищення рідини використовуються спеціальні пристрої - фільтри, різної конструкції та ступеня очищення, що характеризується тонкістю фільтрації, що вимірюється в мікрометрах. Чим нижче тонкість фільтрації, тим кращий клас промислової чистоти рідини може забезпечити фільтр.

Дотримання вимог промислової чистоти рідини під час виготовлення та обслуговування - необхідна умова надійної роботи гідروприводу.

Активними джерелами забруднення є гідроциліндри, які не оснащені брудознімачами. Безперервно в рідину потрапляють продукти зносу гідроагрегатів (особливо насосів та гідромоторів) та корозії. Рідина містить також багато частинок забруднення, що потрапили до неї через знос і старіння гумотехнічних виробів (рукавів, гнучких шлангів, ущільнень).

При експлуатації гідравлічних систем на деталях із чорних та кольорових металів спостерігається корозія та лущення поверхонь. Частки іржі мікронних розмірів випадають в осад. Однією з причин корозії є наявність у паливі різних продуктів окислення – перекису, органічних кислот, сірки та сірчистих сполук. Сильна корозійна дія надає волога, яка може бути присутньою в паливі та маслі. Нагрів рідини посилює корозійні процеси.

Пил в атмосфері є типовою дисперсною системою з розміром частинок до 100 мкм. Вимірювання показали, що в одному літрі повітря кількість частинок пилу може змінюватись від 10 до 200000 одиниць. Пил безперервно переміщається під час руху повітря, частково осідаючи на поверхні землі або навпаки, піднімаючись під дією висхідних потоків повітря, поривів вітру та руху транспорту. Щільність дорожнього пилу, незважаючи на різне його походження, коливається у вузьких межах від 2,6 до 3,0 г/см<sup>3</sup>. Склад мінеральної частини атмосферного пилу, жорсткість деяких його компонентів та гранулометрична характеристика наведено у таблиці 1.6.4 [7].

Таблиця 1.6.4

Склад пилу	Відсотковий вміст елементів, % (за масою)				Жорсткість за шкалою Моосу
	Київський	Одеський	Казахстанський	Штат Аризона, США	
Кварц	79	68	34,3-41,6	67...69	7
Оксид заліза	–	–	–	3...5	6
Оксид алюмінію	11	14	–	15...17	9
Оксид кальцію	1,0	4,0	–	2...4	
Оксид магнію	1,0	2,0	–	0,5...1,5	4,5
Калієвий польовий шпат	–	–	45,0	–	6...6,5

Таблиця 1.6.5

## Гранулометричні характеристики пилу [7]

Розмір частинок пилу, мкм	Київський пил, % (за масою)	Одеський пил, % (за масою)	Приазовський пил, % (за масою)
0...10	10	24,8	3,8
10...20	18	31,2	9,2
20...30	19	25	13,8
30...50	32	13	37,2
Более 50	21	6	40,0

Дані таблиць 1.6.4 і 1.6.5 вказують на те, що більшість частинок пилу пропорційна із зазорами в рухомих вузлах гідроагрегатів (5...30 мкм), а жорсткість деяких його компонентів значно перевищує жорсткість матеріалів для виготовлення пар тертя. Для порівняння можна вказати, що жорсткість за шкалою Моос встановлюється: для алмазу – 10; заліза – 4,4; міді – 3,0; алюмінію – 2,9.

Форма частинок пилу залежить від мінерального складу. Так, частки сушіщеного пилу формою наближаються до тетраедрам і мають гострі грані. Пил усадкових порід складається з частинок овальної форми.

Частинки забруднення залишаються в системі та її елементах після виготовлення та ремонту: пісок, що потрапляє при литті; пил, що осідає на стінах; окалина від зварювання, кування або термічної обробки; залишки машинної обробки деталей; задирки від трубопроводів і т.д.

Забруднення в рідину потрапляють при обслуговуванні систем, при недбалому монтажі агрегатів, гнучких шлангів і трубопроводів, через незаглушені з'єднувальні вузол, через забруднення інструментів, заправних засобів, одягу обслуговуючого персоналу.

Забруднення можуть з'явитися також при наливанні паливно-мастильних матеріалів недостатньо чисті ємності, при перекачуванні по погано промитих трубопроводах.

Джерелами забруднення палив та масел у деяких випадках можуть бути самі фільтри, призначені для очищення рідини. У процесі роботи фільтроелементи частково руйнуються та їх компоненти вимиваються потоком рідини. Такого типу забруднення спостерігаються у всіх фільтрах з волокнистими наповнювачами, виготовлених, наприклад, паперу, вовни, целюлози, скловолокна і т.п. Крім того, при використанні волокнистих наповнювачів, які можуть змінити пористість зі збільшенням перепаду тиску, при гідроударах та пульсації тиску, затримані фільтром частинки забруднення повільно проходять через фільтроелемент і знову потрапляють у робочу рідину.

Сучасні гідравлічні системи працюють при різному тиску, що досягає 100 МПа, володіють потужністю до 6500 кВт і включають сотні агрегатів різного призначення і тисячі ущільнюючих пристроїв.

У рідині будь-якої гідравлічної системи, незважаючи на наявність фільтрів та захисту систем від попадання забруднення, знаходяться мільйони механічних частинок різних розмірів та твердості. Рухаючись разом із потоком, вони викликають підвищений знос гідроапаратури, втрату герметичності, порушення

регулювань, збільшення сил тертя, а в деяких випадках і заклинювання деталей, що рухаються. Частинки провокують кавітаційні явища в системі, засмічують калібровані отвори та фільтри, сприяють накопиченню статичної електрики, підвищують окиснення олії та її нагароутворення. Використання забруднених рідин призводить не тільки до різкого скорочення термінів служби гідроапаратури (в окремих випадках у десятки разів), але й швидкої втрати ними властивостей, необхідних для роботи в гідравлічних системах і, таким чином, їх частій заміни.

Технологія отримання чистої рідини потребує великих матеріальних витрат. Слід зазначити, що з поліпшенням якості та тонкості очищення рідини зростають витрати на її здійснення [8].

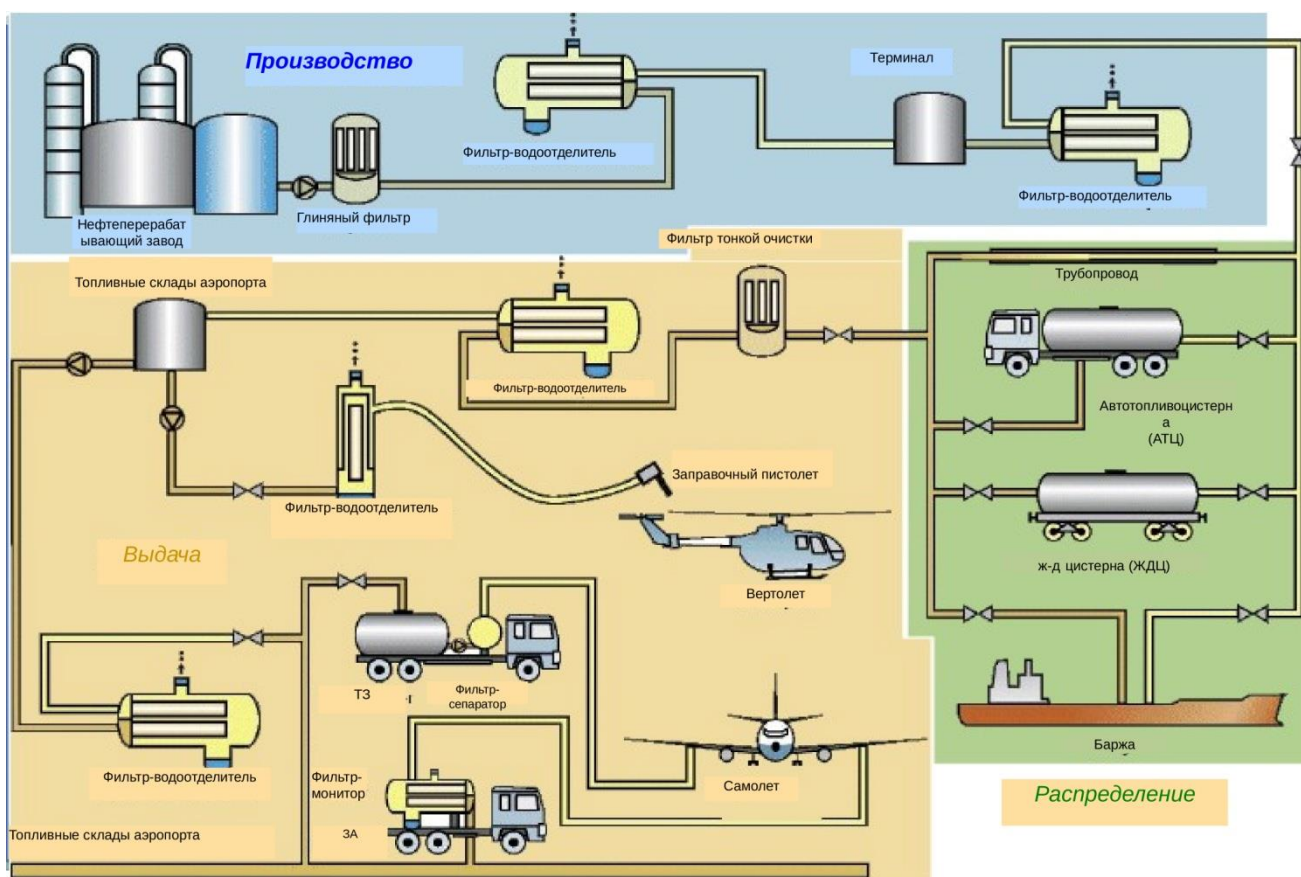


Рис.1.6.2. Шлях подолання авіа палива до повітряного судна

## ГЛАВА 2. ОЧИЩЕННЯ РІДИНИ У НЕОДНОРІДНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ.

### 2.1. Принцип дії електроочисника.

Принцип дії електроочисника ось у чому. Електростатичне поле приводить молекули води в рух за рахунок дотику води з неізольованим електродом і подальшим придбанням власного заряду, після чого молекули зі значною швидкістю переміщуються до протилежного електрода, де змінюють знак і переміщуються у зворотному напрямку. У процесі коливальних рухів вони злипаються, і відбувається збільшення розміру частинок, краплі води постійно зливаються, утворюючи більші краплі, у результаті, відбудеться поділ емульсії. Зі зростанням розміру водних крапель вони випадають у відстій (рисунок 2.1.1).

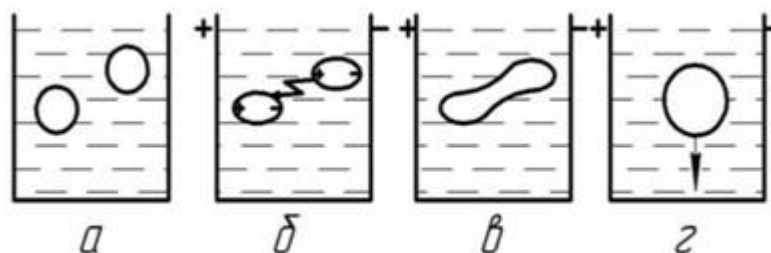


Рис. 2.1.1. Схема взаємодії крапель води у неоднорідному електричному полі:  
а – зважений стан води у паливі; б – утворення диполів;  
в – злиття та укрупнення крапель води; г - випадання в осад.

Мінеральні олії, що застосовуються як робочі рідини гідросистем, є діелектричними рідинами. Тому їх можна очищати від забруднюючих частинок електростатичному полі, використовуючи сили електричного тяжіння. Забруднюючі частинки, переміщаючись разом з рідиною, постійно труться об рідину і під впливом цього тертя отримують негативний і позитивний електричний заряд. Якщо рідину пропустити між двома електродомі, то негативно заряджені частинки будуть притягнуті до електрода з позитивним зарядом, а позитивно заряджені до електрода з негативним зарядом. Відбудеться електростатичне очищення робочої рідини.

Труднощі при створенні електростатичних очисників спричинені необхідністю утримувати на поверхні електродів забруднюючі частинки, що



втратили заряд внаслідок зіткнення з електродом. У разі втрати заряду зникають і сили електричного тяжіння. Радянський вчений Н.М. Белянін запропонував застосовувати пористі керамічні пластини (уловлювачі) змінної щільності, які перешкоджають змиванню робочої рідини притягнутих до електродів забруднюючих частинок. Пористі пластини надійно утримують частинки, що забруднюють, навіть при вимкненому електростатичному очиснику. У міру накопичення забруднювача пористі пластини витягають з очисника, очищають і знову встановлюють.

Чим більша напруженість електричного поля, тим ефективніше працюватиме електричний очисник, тому що в цьому випадку забруднюючі частинки, що мають навіть невеликий заряд, будуть притягуватися до електродів. Проте величина напруженості електричного поля обмежується діелектричними характеристиками робочих рідин гідросистем. Гранично допустима різниця потенціалів на електродах залежить від відстані між електродами  $S$  і в жодному разі не повинна перевищувати 90-95% напруги пробою рідини.

Розрахунок електростатичного очисника зводиться в основному до визначення діаметра забруднюючої частки, що надійно утримується на електроді.

В електростатичних очисниках для очищення масел і палив очищення рідини здійснюється силами електростатичного поля, в якому тверді частинки, заряджені тертям про рідину, притягуються до заряджених протилежно електродів, розташованим на невеликій відстані один від одного. Рідина, що очищається, пропускається в зазор між електродами. До електродів підводиться ззовні постійний потенціал (за рахунок підведення напруги від системи запалення двигуна до одного електрода та заземлення іншого).

*Електроочисники* забезпечують високу тонкість очищення при малому гідравлічному опорі і дуже малих витратах електроенергії, мають велику брудоемність, дозволяють проводити повне та багаторазове відновлення робочих характеристик (регенерацію) без демонтажу виробу та його розбирання із вилученням накопичених у ньому забруднень. Можливість регенерації електроочисників без розбирання та зміни фільтроелементів відкриває широкі

перспективи автоматизації процесу наземного очищення авіапалива та авіамасел, а висока тонкість фільтрації збільшує надійність та термін служби авіаційної техніки. За допомогою електроочисника легко отримати рідину, забрудненість якої у 1000 разів менша від забруднення допустимої до заправки за ГОСТ 6370 - 59 рідини.

**Електроочисники** для видалення з нафтопродуктів твердих забруднень мають порівняно невеликі габаритні розміри, що не змінюють у процесі експлуатації пропускну здатність та гідравлічний опір, дозволяють автоматизувати процес очищення нафтопродуктів.

В **електроочиснику**, обладнаному пасткою, частинки, що зарядилися, проскакують через кільця з протилежним зарядом і осідають у пастці. Дані щодо ефективності очищувача цієї конструкції в літературі відсутні.

Існують також **електроочисники**, призначені для видалення з олії емульгованої води.

Досвід експлуатації **електроочисників рідин гідравлічних систем** і моторних масел показав, що електроочищення можуть бути піддані рідини, що мають об'ємний опір більш ніж до 10 Ом. Отже, згідно з проведеними дослідженнями, рідини Аіфф-Ю та МК-8 можна очищати за допомогою електроочисника.

Для випробування цього **електроочисника** був розроблений та виготовлений стенд, що дозволяє прокачувати рідину по прямому (з бака в бак) та замкненому циклу.

Експериментально виявлено, що зі збільшенням температури очищуваних авіаПММ підвищується ефективність їх очищення очисником з наповнювачем із гранул конденсаторної кераміки.

У міжелектродному просторі відбувається відділення механічних домішок від рідини та осадження їх на одному з електродів і розділяє електроди ізолюючому диску. Коли електроди та ізолюючі диски стають досить забрудненими, фільтр-пакет легко розбирається, забруднені деталі промиваються і після збирання фільтр готовий до повторного використання.

Таке виконання електроочисника гарантує його повну надійність, оскільки виключаються місця можливого електричного замикання. Як відомо, напруженість електричного поля у кромок електродів значно вища, ніж між плоскою частиною. Імовірність короткого замикання між кромками протилежно заряджених електродів є найбільшою. Забезпечення надійності досягається тим, що між електродами в місцях розташування кромок розміщується суцільний ізолюючий диск з пробивною напругою, що значно перевищує робоче.

У процесі роботи електрофільтрів в міжелектродному просторі відбувається накопичення забруднювачів, які в більшості випадків є електропровідними (металеві продукти зносу частин механізмів, що труться, продукти окислення мінеральних масел і т. п.). Забруднювачі значно знижують електричний опір середовища в межелектродном просторі, й у місцях розташування кромок протилежно заряджених електродів відбувається пробой, оскільки напруженість електричного поля там максимальна. Пробой переходить в мікродугу, в каналі якої утворюється графітовий місток з продуктів розкладання масел, що очищаються. В результаті відбувається коротке замикання між електродами та вихід електрофільтра з ладу.

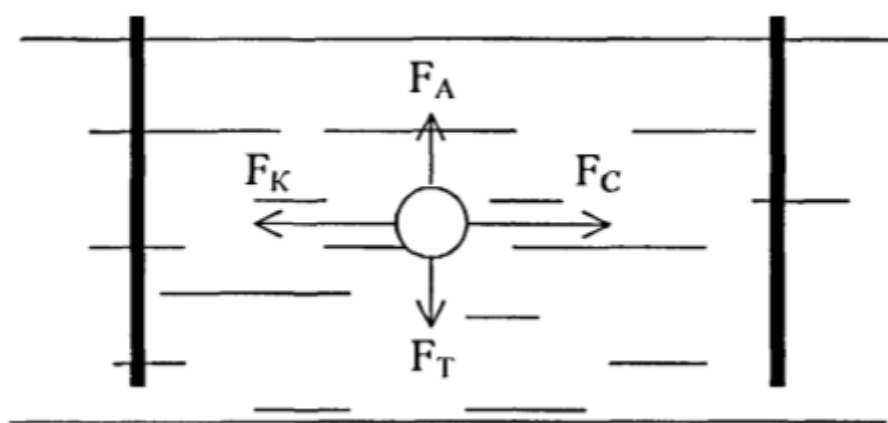


Рисунок 2.1.2. Сили, що діють на частину домішки в маслі:  $F_K$  – кулонівська сила електричного поля,  $P_d$  – архімедова сила,  $F_C$  – сила опору руху.  $F_T$  - сила тяжіння.

Процес очищення мастила під дією електричного поля описується стосовно електростатичного фільтра, виконаного у вигляді двох плоских електродів,

розташованих паралельно один до одного. Теорія процесу не зазнає істотних змін під час розгляду електростатичних фільтрів з електродами іншого типу. Відмінність може полягати лише у чисельних виразах сил, які діють частки домішки.

Сили, що діють на частинку мастила, показані рисунку 2.1.2.

Під впливом різниці сили тяжкості і виштовхуючої (архімедової) сили частка або спливає, або осідає на дно, або перебуває у зваженому стані. У разі архімедова сила і сила тяжкості рівні. Якщо ці сили не рівні, буде відбуватися рух частинки вгору чи вниз. Шлях, пройдений часткою, у цьому випадку можна визначити за відомою формулою:

$$L = \frac{a_{\text{ч}} \cdot t^2}{2} \quad (2.1.1)$$

Де  $a_{\text{ч}}$  - прискорення руху частинки під дією рівнодіючої архімедової сили та сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;

$t$  – час руху частки, с.

Виразивши прискорення за другим законом Ньютона, отримуємо наступне вираз:

$$L = \frac{(F_T - F_A) \cdot t^2}{2m} \quad (2.1.2)$$

де  $F_T$  - сила тяжіння, Н;

$F_A$  — архімедова сила, Н;

$m$  - маса частки, кг.

У цій ситуації конкретності прийнято, що сила тяжкості більше архімедової сили. Прирівнявши (2.1.1) і (2.1.2), отримуємо рівняння для часу осідання частки:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot L}{F_T - F_A}} \quad (2.1.3)$$

Як показує практика, час відстою олії становить кілька діб. Оскільки маса і шлях величини кінцеві, то звідси випливає, що архімедової сили і сили тяжкості, що діє, прагне нуля. Тобто, ці сили практично рівні, і їх у подальших

міркуваннях можна знехтувати. У цьому випадку рух частинки в олії представлено рисунку 2.1.3.

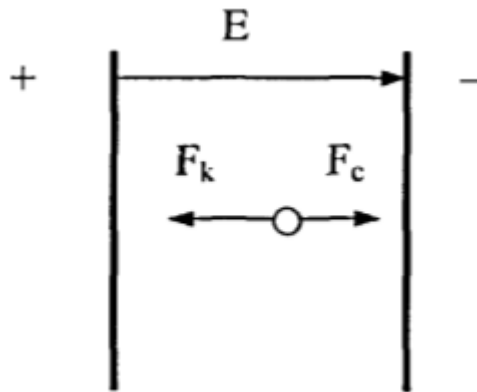


Рисунок 2.1.3. Сили, що діють на частинку олії

Сила, що діє на частинку, визначається таким чином:

$$F = F_K - F_C \quad (2.1.4)$$

де  $F_K$  - сила Кулона, Н;

$F_C$  - сила опору, Н.

Частка прискорюється доти, доки сила опору не зрівняється із силою Кулона. Після цього частка рухатиметься з постійною швидкістю  $v_{\text{ч}}$ .

Сили, що входять до рівняння (2.1.4), визначаються за відомими формулами:

$$F_K = \frac{q_{\text{ч}} \cdot q_{\text{пл}}}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot b^2} \quad (2.1.5)$$

$$F_C = \eta \cdot v_{\text{ч}} \cdot b \quad (2.1.6)$$

де

$q_{\text{ч}}$  - заряд частки, Кл;

$q_{\text{пл}}$  - заряд пластини, Кл/г;

$\varepsilon$  - діелектрична проникність;

$\varepsilon_0$  - електрична постійна,  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  Кл<sup>2</sup>/(Нм<sup>2</sup>);

$\eta$  — в'язкість олії, Н-с/м.

До подачі напруги на електроди та формування між ними електричного поля частка домішки знаходиться у зваженому стані і рівнодіюча на неї сила дорівнює нулю (при допущенні  $R_d = R_T$ ). В результаті дії електричного поля на неї починає діяти сила Кулона, яка за другим законом Ньютона надає їй початкове прискорення у бік позитивного електрода.

Після початку руху частка домішки зустрічає силу опору (силу в'язкості), що зменшує прискорення. Причому ця сила зростає зі збільшенням швидкості руху частки. Але швидкість частинки буде збільшуватися до тих пір, поки прискорення не буде рівним нулю, після цього частка буде рухатися з постійною швидкістю, що встановилася.

Таким чином, скориставшись наведеними виразами (2.1.5) та (2.1.6), можна записати наступне рівняння:

$$\frac{q_{\text{ч}} \cdot q_{\text{пл}}}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot b^2} - \eta \cdot v_{\text{ч}} \cdot b = a_{\text{ч}} \cdot m \quad (2.1.7)$$

де  $a_{\text{ч}}$  - прискорення частки під дією кулонівської сили та сили в'язкості

Враховуючи, що прискорення є першою похідною швидкістю за часом, можна записати:

$$\frac{q_{\text{ч}} \cdot q_{\text{пл}}}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot b^2} - \eta \cdot v_{\text{ч}} \cdot b = m \cdot \frac{dv_{\text{ч}}}{dt} \quad (2.1.7)$$

Заряд пластини определяється по формуле:

$$q_{\text{пл}} = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{b} \cdot U \quad (2.1.8)$$

де  $S$  - площа пластини,  $\text{м}^2$ ;

$U$  - напруга, В.

З урахуванням (2.1.6) отримуємо диференціальне рівняння

$$\frac{q_{\text{ч}} \cdot S \cdot U}{4 \cdot \pi \cdot b^3} - \eta \cdot v_{\text{ч}} \cdot b = m \cdot \frac{dv_{\text{ч}}}{dt} \quad (2.1.9)$$

Запишемо дане диференціальне рівняння у зручному для вирішення вигляді

$$a \cdot q_{\text{ч}} - k \cdot v_{\text{ч}} = m \cdot \frac{dv_{\text{ч}}}{dt} \quad (2.1.10)$$

де

$$a = \frac{S \cdot U}{4 \cdot \pi \cdot b^3} \quad (2.1.11)$$

$$a = \eta \cdot b \quad (2.1.12)$$

Розв'язанням даного диференціального рівняння буде:

$$v_{\text{ч}} = \frac{a \cdot q_{\text{ч}}}{k} + C \cdot \exp\left(-\frac{k}{m} \cdot t\right) \quad (2.1.13)$$

Ця функція визначає залежність швидкості частки від часу знаходження в електричному полі. Тут  $\int$  - стала інтегрування.

Постійну інтеграцію можна визначити з початкових умов.

Графіки функції швидкості частки домішки наведено на рисунках 2.1.4

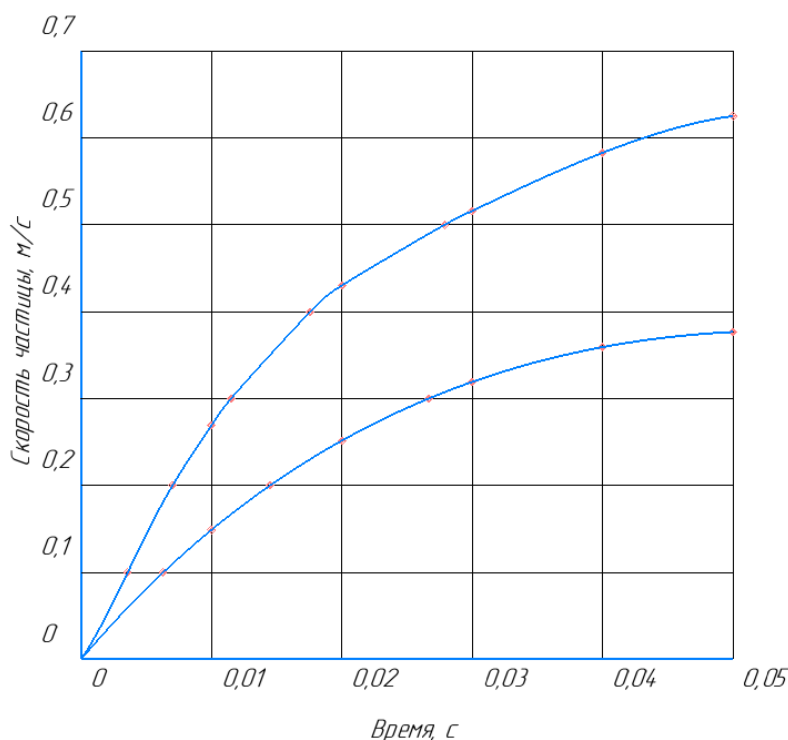


Рисунок 2.1.4. Залежність швидкості частки домішки в маслі від часу очищення:

1 – напруга електричного поля 5 кВ,  $b = 0,01$  м;

2 – напруга електричного поля 3 кВ,  $b = 0,01$  м.

У початковий час ( $t = 0$ ) частка домішки немає руху під впливом поля, тобто початкова швидкість дорівнює нулю. З урахуванням цієї умови, отримуємо:

$$C = -\frac{a \cdot q_{\text{ч}}}{k} \quad (2.1.14)$$

Таким чином, швидкість частки домішки в маслі визначається наступною залежністю від часу перебування в електричному полі:

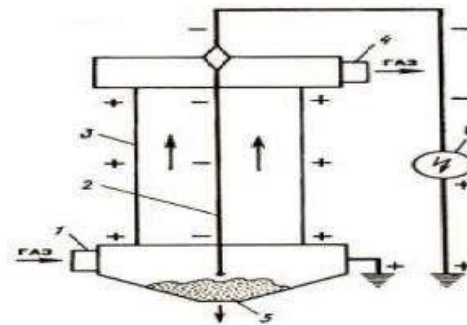
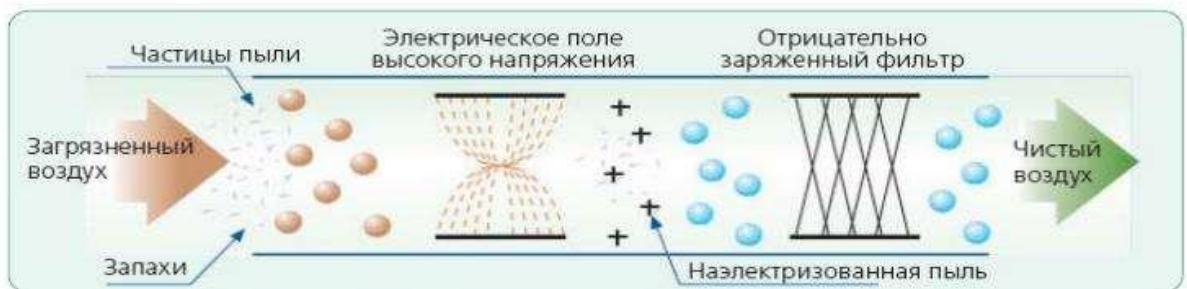
$$v_{\text{ч}} = \frac{a \cdot q_{\text{ч}}}{k} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{k}{m} \cdot t\right) \right] \quad (2.1.15)$$

Або після зворотної підстановки, маємо такий вираз для швидкості частки:

$$v_{\text{ч}} = \frac{q_{\text{ч}} \cdot S \cdot U}{4 \cdot \pi \cdot b^4 \cdot \eta} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{k}{m} \cdot t\right) \right] \quad (2.1.16).$$

## ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ

**принцип очистки - осаждение взвешенных частиц  
под действием электрических сил**



*Рис.2.1.5 . Принцип дії електроочисника*



## 2.2. Особливості неоднорідного електричного поля.

У неоднорідних електричних полях спостерігається рух частинок фази по еквіпотенціальним лініям поля в напрямку збільшення його напруженості. Для створення найбільш ефективної форми електричного поля необхідно підбирати оптимальні розміри та розташування електродів. Так, хороші результати очищення водно-паливних емульсій (паливо Т-1 з додаванням 10% дизельного палива ДС як емульгатор) на сепараторі виходять при використанні плоских взаємно перпендикулярних електродів та постійного струму. І тут вдається використовувати у сфері сепарації заряд частинок дисперсної фази, якщо нижній електрод заряджений негативно.

Принцип роботи очисників, у яких створюється неоднорідне електричне поле, заснований на іонізації частинок забруднень та їх подальшому осадженні на електроді, що має заряд протилежного знака. Частинки забруднень у неоднорідному електричному полі переміщуються під дією сили, що виникає за різної діелектричної проникності рідкого середовища та частинок забруднень. Ця сила спрямована у бік збільшення напруженості електричного поля. В результаті переміщення до електрода з більшою напруженістю частинки сорбують на своїй поверхні заряджені іони, набувають при цьому заряд і рухаються до електрода, заряд якого має протилежний знак, де і осідають.

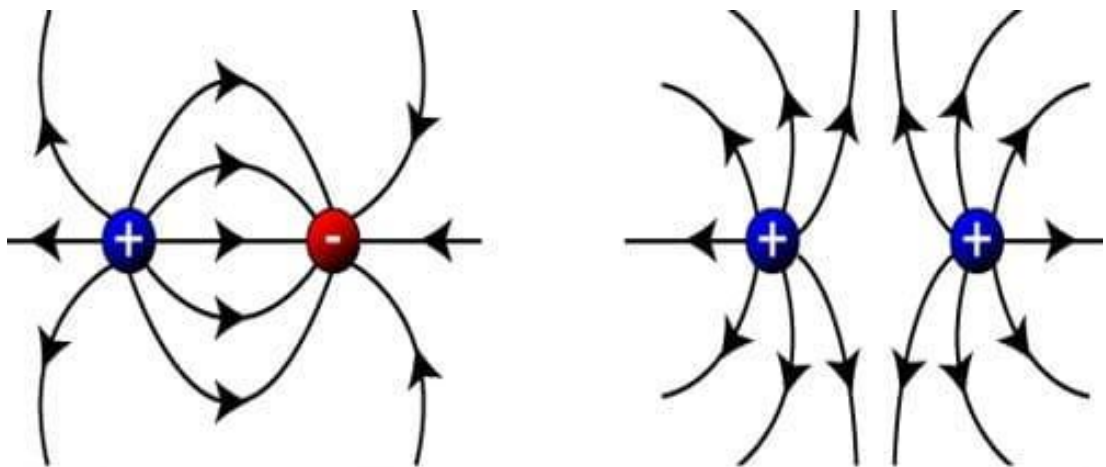


Рис.2.2.1. Схематичне зображення неоднорідного електричного поля

Електроочищення нафтопродуктів у неоднорідному електричному полі набагато ефективніше, ніж використання для цієї мети однорідного поля, при застосуванні якого процес укрупнення крапель протікає досить інтенсивно лише за високої концентрації води в нафтопродукті і значно сповільнюється зі збільшенням відстані між краплями. У неоднорідних електричних полях рух мікрокрапель води траєкторіями, що збігаються з екіпотенційними лініями поля, відбувається тим інтенсивніше, чим вище градієнт напруженості поля. Для створення необхідного градієнта напруженості потрібно використовувати досить високу напругу на електродах (не менше 3 кВ), що визначається мінімальною відстанню між електродами (50 мм і більше). При зменшенні цієї відстані градієнт напруженості поля збільшується, але можливий електричний пробій емульсії внаслідок відриву крапель води, що осіли, від катода.

Параметри процесу очищення та електростатичного фільтра визначаються наступними параметрами соняшникової олії:  $R_M$  - опір постійному струму,  $\epsilon$  - діелектрична проникність олії,  $\eta$  - в'язкість олії. Ці параметри в свою чергу залежать від фізичних характеристик олії – її температури та зволоженості. Крім того, електричні параметри можуть змінюватися у процесі очищення.

Проте оскільки теоретично описано лише видалення домішок, то реалізації теоретичних положень досить обмежитися залежностями електричних параметрів забрудненого масла (вихідний стан масла). При цьому слід експериментально отримати електричні параметри олії у всьому можливому діапазоні зміни температури та вологості олії.

Так як в кінцевому рахунку в процесі електрофорезу агрегатовані частинки домішок осаджуються на електроді і потім стікають з нього, оптимальним діапазоном зміни фізичних характеристик буде режим осадження. Режим осадження домішок з олії в електричному полі визначається закономірностями, характерними для природного відстою, але з урахуванням специфічних особливостей електроосадження. Як правило, продукти, що відокремлюються в процесах очищення, осідають на позитивному електроді при температурі 30-60°C. У цьому інтервалі температур знижується в'язкість дисперсійної

середовища проживання і тим самим полегшується випадання частинок дисперсної фази.

Для зниження в'язкості соняшникової олії та відповідно зменшення сили опору олію перед очищенням зволожують, а потім у процесі очищення та після неї зневоднюють.

При зневодненні олії слід враховувати, що з підвищенням температури збільшується розчинність води [58, 97]. Це вимагає підвищеної витрати енергії на видалення вологи.

Оскільки вимоги до вищих сортів олії за вмістом вологи дуже жорсткі, а електричне поле в процесі очищення здатне видаляти в основному лише вільно дисперговану воду, олію слід було б зневоднювати за температури, мінімально можливої за умовами технології (20 - 35 °С). Однак при низькій температурі повільніше протікає електрофорез, що пояснюється загусання олії, тобто збільшенням його в'язкості. Таким чином, для зменшення в'язкості масла і, отже, для поліпшення умов поділу фаз, його температуру для протікання процесу електрофорезу слід збільшити не менше ніж 40°С.

Разом з тим для осадження домішок олії в електричному полі висока температура небажана, оскільки вона призводить до збільшення електропровідності та зменшення пробивної напруги олії [31]. Це своє чергу викликає непродуктивні витрати електроенергії, пов'язані зі збільшенням часу електрофорезу.

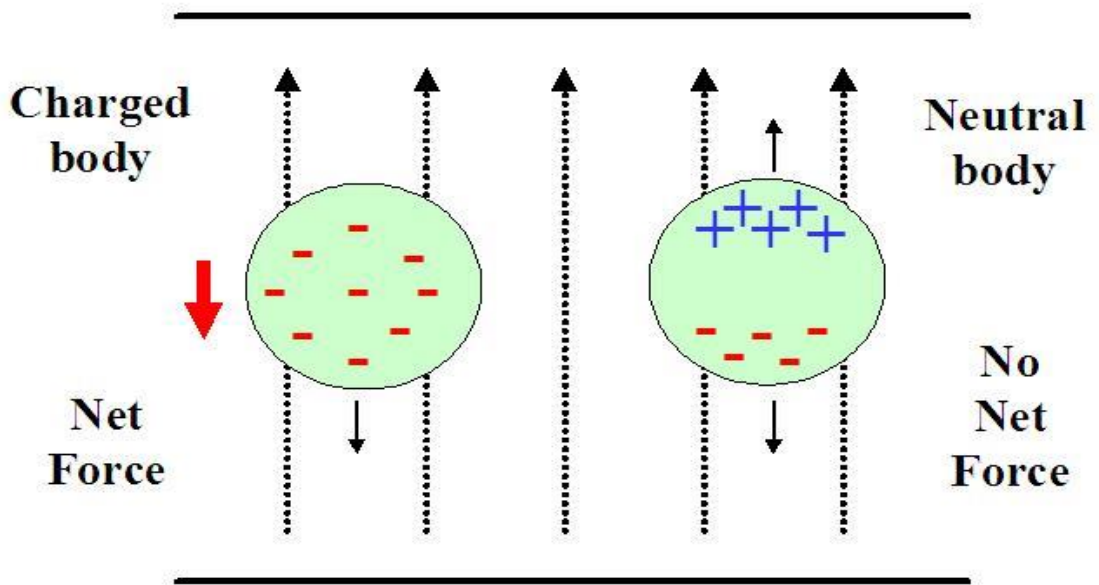
Таким чином, при виборі температурного режиму електроосадження слід враховувати властивості продукту, бажаний ступінь очищення та умови протікання процесу електрофорезу. Оптимальна температура очищення кожного продукту зазвичай визначається експериментально [58].

Олія, що знаходиться в ємностях встановлених в маслоцехах, має температуру 18 - 22°С, а преса, що виходить, температуру 80 - 100°С. Саме цей діапазон доцільно прийняти при плануванні експерименту.

У цьому роботі, щоб одержати вихідних даних як залежностей, температура олії варіювалася не більше 20 - 100 °С.

**a) Uniform Field**

$-V$



$+V$

**b) Non-Uniform Field**

$-V$

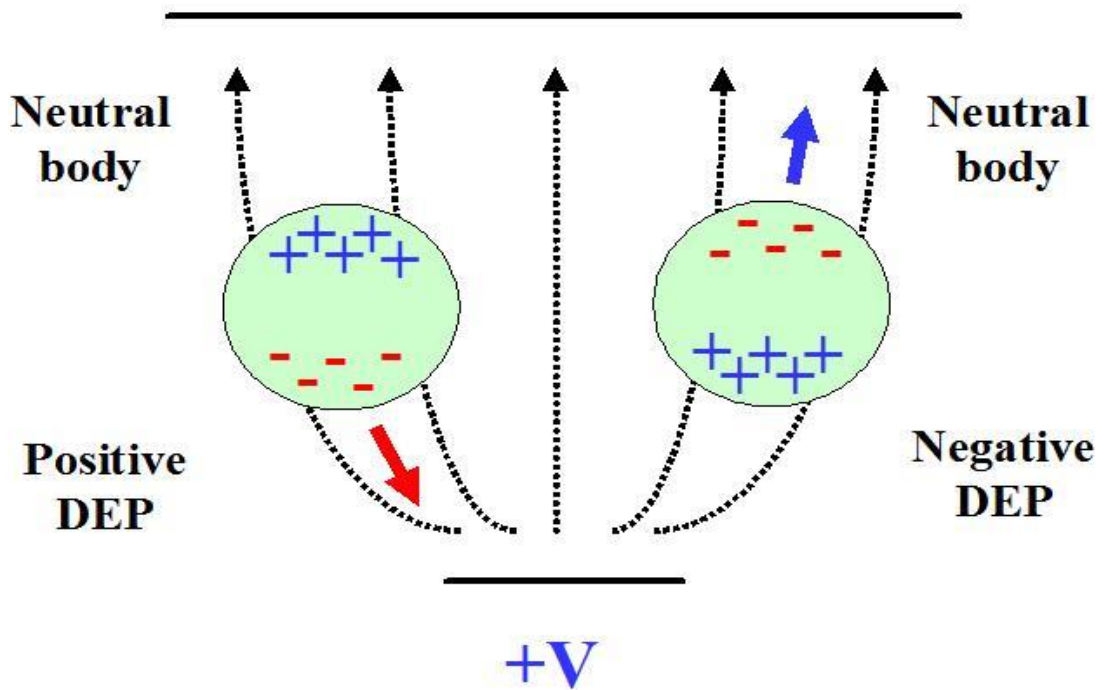


Рис.2.2.2.. Схематичне порівняння а) однорідного та б) неоднорідного електричних полів.

Як впливає з теорії процесу електрофорезу, одним з найважливіших факторів при очищенні олії із застосуванням електричного поля є його напруженість. Напруженість поля між електродами визначається напругою, прикладеною до електродів, відстанню між електродами та їхньою формою. У найпростішому випадку, для плоскопаралельних електродів напруженість поля постійна у всьому обсязі поля між електродами (за винятком невеликого простору у країв).

Для стрижневих електродів максимальна напруженість поля спостерігається на поверхні стрижнів, мінімальна — у площині, що рівно віддалена від протилежних за знаком електродів. Для камерних електродів максимальна напруженість поля буде на зовнішній поверхні внутрішнього електрода, мінімальна – на внутрішній поверхні зовнішнього електрода.

Характер зміни напруженості у міжелектродному просторі досить повно висвітлено у спеціальній літературі [31]. У розрахунках для простоти викладу приймемо, що у всіх випадках напруженість електричного поля не змінюється, і використовуватимемо поняття градієнта поля, що дорівнює відношенню напруги на електродах до відстані між ними.

Градієнт поля, який необхідно створити між електродами, залежить в основному від кількості домішок, що відокремлюються, необхідного ступеня очищення, властивостей очищеного продукту (різниці щільностей масла, домішок і в'язкості), продуктивності апарату, конструкції електродів.

Градієнт поля повинен бути тим більше, чим більше кількість домішок, які потрібно відокремити, чим вище необхідний ступінь очищення і необхідна продуктивність електророзділювача, і що більш в'язкий продукт піддається очищенню. Для стрижневих електродів потрібна нижча напруга, а, отже, і менший градієнт поля, ніж пластинчастих і камерних (дані конструкції електродів наведені у джерелі [58]). Практично градієнт поля зазвичай підбирають досвідченим шляхом у кожному конкретному випадку.

Проте ефективне відділення домішок відбувається лише певному інтервалі градієнта поля. При градієнті поля нижче оптимального, ефект поділу різко

погіршується, при підвищеному градієнті настає бурхливе "електричне перемішування", що призводить до роздроблення частинок на дрібніші та створення більш тонкодисперсної емульсії, ніж вихідна. Останнє призводить до збільшення енерговитрат на очищення, а у граничному випадку робить осадження домішок на електроді неможливим.

На промислових установках електроочищення дисперсних рідин градієнт поля зазвичай дорівнює 80 – 400 кВ/м. При використанні стрижневих електродів для зневоднення олій та парафінів 150 - 200 кВ/м.

При використанні пластинчастих та камерних електродів градієнт поля знаходиться в межах 150 – 400 кВ/м [58]. При зменшенні відстані між електродами та одночасному збереженні градієнта поля продуктивність електророзділювача зростає. Це підтверджується порівнянням результатів роботи промислових електророзділювачів.

У промислових електророзділювачах (електрофільтрах) відстань між електродами зазвичай становить 0,08 - 0,12 м. Це пояснюється зручністю монтажу електродів, зручністю очищення без розбирання, зменшенням небезпеки замикання електродів струмопровідними ланцюжками.

Очевидно, зменшувати відстань між електродами доцільно в електророзділювачах, призначених для очищення не сильно забруднених масел, при якій електроди забруднюються не інтенсивно. Для зручності монтажу електродів із зменшеним зазором їх доцільно виготовляти та постачати готовими секціями.

Збільшення продуктивності електрофільтрів при зменшенні відстані між електродами пояснюється такими факторами:

- скорочується час, необхідний для руху частинок, що відокремлюються, до електродів;
- оскільки розміри частинок, що відокремлюються, залишаються колишніми, покращуються умови укрупнення частинок під впливом поляризації;
- покращується гідравлічний режим руху продукту, що очищається, внаслідок зменшення його циркуляції в апараті.

На підставі викладеного та попередніх досліджень визначено межі варіювання факторів.

Так було встановлено, що при напрузі менше 3 кВ очищення практично не відбувається, а при напрузі вище 10 кВ спостерігається інтенсивний рух олії, що призводить до "змивання" фузи з електродів.

Виходячи з умов електричного пробою та можливості виготовлення електростатичного фільтра, відстань між електродами повинна бути не менше 0,005 м. Крім того, як показали раніше проведені експерименти, це мінімально допустима відстань, при якій можливе осадження домішки на електроді в процесі очищення та її видалення після очищення. При збільшенні відстані між електродами зменшується напруженість електричного поля, що тягне за собою збільшення часу очищення. Однак при цьому споживана потужність може знижуватись.

Дослідами, що проводяться, було встановлено, що процес очищення практично припиняється при видаленні електродів на відстань більше 0,015 м.

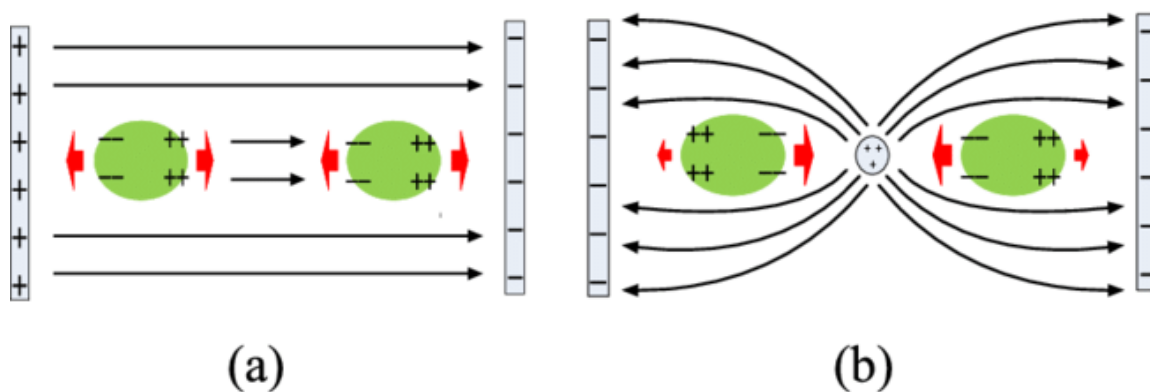


Рис.2.2.3 . Спрощене пояснення відмінностей а) однорідного та б) неоднорідного електричних полів відповідно.

### 2.3. Функціональна схема електроочисника та принцип її роботи.

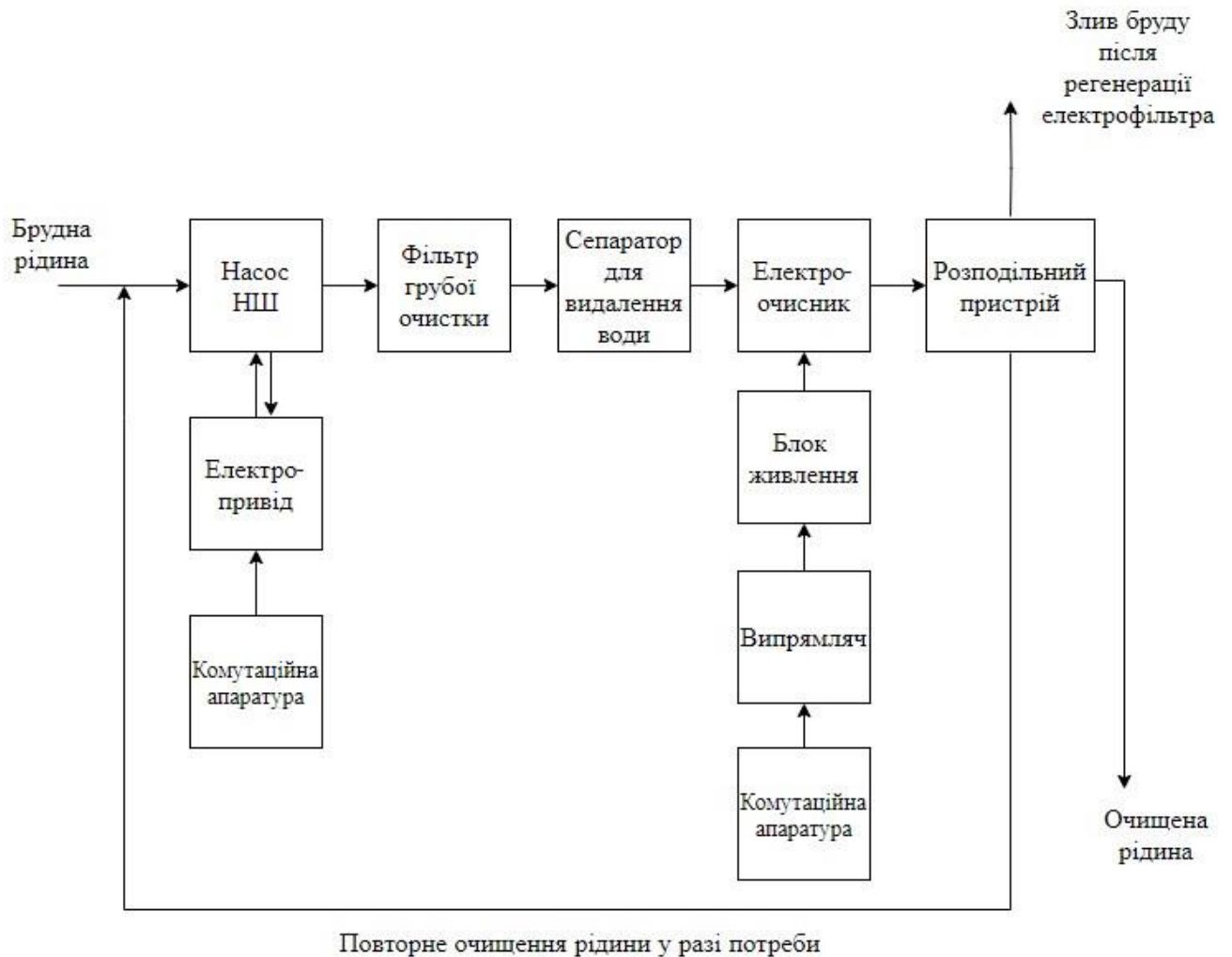


Рис.2.3.1. Функціональна схема електроочисника

#### Установка складається:

Блок електроприводу через комутаційну апаратуру запускає насос для подачі брудної рідини по з'днувальному трубопроводу до фільтра грубої очистки. Фільтр грубої очистки призначений для очищення рідини від грубих механічних домішок.

Рідина трубопроводом надходить у порожнину між стінками корпусу та фільтруючим елементом. Пройшовши через фільтр, очищена рідина надходить усередину каркасної трубки і далі до сепаратора для видалення води. На



зовнішній поверхні фільтруючого елемента та на днищі корпусу осаджуються механічні домішки. Для видалення повітря при заміні фільтра у верхній частині кришки є різьбовий отвір, закритий пробкою.

Всередині електросепаратора, створюється неоднорідне електричне поле з напруженістю, яка збільшується від периферії до центральної осі електросепаратора, куди подають очищену рідину, що забезпечує утримання механічних забруднень з об'ємів рідини, перетіканих на периферію електросепаратора, чим здійснюється очищення рідини, що спрямовується на периферію, і концентрування забруднень обсягом рідини в області центральної осі.

В блоці *електроочисника* реалізується вплив електричного розряду малої потужності та неоднорідного електричного поля. Електроочисник має окремий ланцюг управління. Він живиться з блоку живлення куди надходить постійний струм від випрямляча, який керується за допомогою комутаційної апаратури.

З електроочисника вже очищена рідина подється на розподільний пристрій, що являє собою чотири-отвірний мембранно-клапанний пристрій, де проходить розподіл рідини по напрямкам руху. Один отвір вхідний, а три інші – вихідні для зливу рідини. Один вихідний отвір призначений для зливу брудної рідини після регенерації електроочисника, тобто «зтрушування» електродів електроочисника від накопиченого бруду. Другий вихідний отвір призначений для зливу чистої очищеної рідини за призначенням. Третій вихідний отвір призначений для направлення, у разі потреби, очищеної рідини для повторної доочистки до насосу подкачки (НШ).

## Глава 3. Конструкція електроочищувача.

### 3.1. Підбір насоса та електродвигуна з комутаційною апаратурою. Схема підключення електродвигуна

Щоб вибрати відповідний насос, необхідно знайти напір, що розвивається насосом, а також потужність насоса.

Напір насоса – енергія, що повідомляється насосом одиниці ваги рідини, що переміщується:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_{\Gamma} + h_{\Pi} \quad (3.1.1)$$

Корисна потужність – потужність, що повідомляється насосом рідини, що переміщається:

$$N_{\Pi} = Q\rho gH \quad (3.1.2)$$

Потужність на валу (ефективна):

$$N_e = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{н}}} \quad (3.1.3)$$

Коефіцієнт корисної дії насоса – добуток трьох коефіцієнтів, що характеризують окремі види втрат енергії у насосі:

$$\eta_{\text{н}} = \eta_{\Gamma} \eta_{\text{об}} \eta_{\text{мех}} \quad (3.1.4)$$

Втрати енергії в насосі поділяються на гідравлічні, об'ємні та механічні.

Гідравлічні втрати енергії пов'язані з тертям рідини та вихроутворенням у проточній частині.

Теоретичний напір, створюваний насосом, більший за дійсний напір на величину гідравлічних втрат:

$$H_{\text{T}} = H + h_{\Gamma} \quad (3.1.5)$$

Гідравлічний ККД - відношення дійсного напору до теоретичного:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{H}{H_T} \quad (3.1.6)$$

Об'ємні втрати пов'язані з перетіканням рідини через зазори з області підвищеного в область зниженого тиску, а також витоками через ущільнення. Частина енергії, що втрачається, враховується об'ємним ККД:

$$\eta_{об} = \frac{Q}{Q_T} = \frac{Q_T - Q_{ут}}{Q_T} = 1 - \frac{Q_{ут}}{Q_T} \quad (3.1.7)$$

До механічних втрат відносять тертя у підшипниках, в ущільненнях валу, втрати на тертя рідини про неробочі поверхні робочих коліс (дискове тертя). Величина механічних втрат оцінюється механічним ККД:

$$\eta_{мех} = \frac{N_{\Gamma}}{N_B} \quad (3.1.8)$$

Значення ККД насосів знаходяться в межах 0,6-0,9.

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_H \eta_{пер}} \quad (3.1.9)$$

Потужність насоса:

$$R_0 = 300\text{мм}; 90^\circ L_{BC} = 30\text{м}; L_{НАГ} = 40\text{м}, \quad H_{\Gamma} = 15\text{м},$$
$$Q = 0,5 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}; T_{нач} = 20^\circ\text{C}$$

Підібрати насос для перекачування води з відкритої ємності в апарат, що працює під надлишковим тиском 0,2 МПа. Витрата води геометрична висота підйому довжина трубопроводу на лінії нагнітання довжина трубопроводу на лінії всмоктування. На лінії нагнітання 2 вентиля, 2 відведення під кутом  $1,5 - 3 \frac{M}{c}$  з радіусом загину  $w = 2 \frac{M}{c}$ , на лінії всмоктування 1 вентиль.

Рішення:

Швидкість течії рідини в насосі змінюється в межах. Приймаємо швидкість течії води з рівняння для об'ємної витрати рідини, що перекачується, знаходимо діаметр трубопроводу:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{3600 * 0,785w}} = \sqrt{\frac{0,5}{3600 * 0,785 * 2}} \approx 0,094\text{м} \quad (3.1.10)$$

$$\text{Re} = \frac{wd\rho}{\mu} \approx \frac{2 * 0,0094 * 998}{1,005 * 10^{-3}} = 18699 \quad (3.1.11)$$

Визначимо критерій Рейнольдса:

$$20^{\circ}\text{C} \cdot \mu \cdot \rho \quad (3.1.12)$$

де  $\rho$  - щільність води [2];

$\mu$  - динамічний коефіцієнт в'язкості води [2].

Значення середньої шорсткості для сталевих труб із незначною корозією:

$$\Delta = 0,2\text{мм}$$

Відносна шорсткість:

$$e = \frac{\Delta}{d} \approx \frac{0,0002}{0,0094} = 0,0212 \quad (3.1.13)$$

Визначаємо коефіцієнт тертя:

$$\lambda = 0,11\left(e + \frac{68}{\text{Re}}\right)^{0,25} \approx 0,11\left(0,0212 + \frac{68}{18699}\right)^{0,25} = 0,044 \quad (3.1.14)$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктувальної та нагнітальної ліній [2]:

Для всмоктувальної лінії:

1) вхід води в трубопровід:

$$\xi_1 = 0,5$$

2) прямоточний вентиль:

$$\xi_2 = 0,915 * 0,675 \approx 0,618 \quad (3.1.15)$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів у всмоктувальній лінії:

$$\sum \xi_{\text{м.с.}} = \xi_1 + \xi_2 \approx 1,118 \quad (3.1.16)$$

Втрачений напір у всмоктувальній лінії:

$$h_{\text{п.вс}} = \left(\lambda \frac{L_{\text{вс}}}{d} + \sum \xi_{\text{м.с.}}\right) \frac{w^2}{2g} \approx \frac{4}{2 * 9,81} \left(\frac{0,027 * 30}{0,069} + 1,118\right) = 2,621\text{м} \quad (3.1.17)$$

Для нагнітальної лінії:

1) прямоточні вентилі:

$$\xi_1 \approx 0,618$$

2) відведення: коефіцієнт А = 1, коефіцієнт В = 0,11;

$$\xi_2 = AB = 0,11 \quad (3.1.18)$$

3) вихід із труби:

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в  $\xi_3 = 1$  нагнітальної лінії:

Втрачений натиск в

$$\sum \xi_{\text{м.с.}} = 2\xi_1 + 2\xi_2 + \xi_3 \approx 1,236 + 0,22 + 1 = 2,456 \quad (3.1.19)$$

нагнітальної лінії:

$$h_{\text{п.наг}} = \left( \lambda \frac{L_{\text{наг}}}{d} + \sum \xi_{\text{м.с.}} \right) \frac{w^2}{2g} \approx \frac{4}{2 * 9,81} \left( \frac{0,027 * 40}{0,0094} + 2,456 \right) \\ = 23,9\text{м} \quad (3.1.20)$$

Загальні втрати напору:

$$h_{\text{п}} = h_{\text{п.вс}} + h_{\text{п.наг}} \approx 6,313\text{м} \quad (3.1.21)$$

Знаходимо повний напір насоса:

$$H \approx \frac{0,2 * 10^6}{998 * 9,81} + 15 + 6,313 = 41,74\text{м} \quad (3.1.22)$$

Подібний напір при заданій продуктивності забезпечується відцентровими насосами.

Визначаємо корисну потужність насоса:

$$\eta_{\text{н}} = 0,6. \eta_{\text{пер}} = 1N_{\text{п}} = \rho g Q H \approx 890 * 9,81 * \frac{0,5}{3600} * 41,74 = 1200 \text{ Вт} \quad (3.1.23)$$

ККД відцентрового насоса змінюється не більше 0,4-0,7. Приймаємо

$$\eta_{\text{н}} = 0,6$$

Знайдемо потужність на валу двигуна:

$$N = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{н}} \eta_{\text{пер}}} \approx \frac{1200}{0,6} = 2000 \text{ Вт} \quad (3.1.24)$$

За таблицею [2] встановлюємо, що заданим подачі та натиску найбільше відповідає шестеренний насос марки НМШ 2-40 (YVI 2-40-1.6/16)

**Призначення насосу НМШ 2-40.** Агрегати НМШ 2-40 застосовуються для перекачування олії, нафти, мазуту, дизельне паливо - без механічних домішок з кінематичною в'язкістю від  $0,018 \cdot 10^{-4}$  до  $15,00 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с (1,08...200°ВУ) ) температурою до 70°С (343 К). Під замовлення можливе постачання насосів НМШ 5-25-4/4 з температурою рідини, що перекачується, до 150°С (423 К), в поодиноких випадках до 200°С (необхідно обмовити при замовленні). Насоси шестеренні НМШ 5-25-4/4 випускаються в кліматичному виконанні у категорії розміщення 3 або Т2, Т5 за ГОСТ 15150-69.

Ротор насоса НМШ 2-40 обертається праворуч за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку приводу. Критерієм граничного стану (вироблення ресурсу) насоса НМШ 2-40-1,6/16 є зниження подачі більш ніж 15% від номінального значення з допомогою зносу базових деталей (роторів, корпусу). Критерієм відмови є збільшення витоку понад 0,01 л/год за рахунок виходу з ладу деталей торцевого ущільнення або виходу з ладу деталей запобіжного клапана.

За принципом дії шестеренний насос НМШ 2-40-1,6/16 – об'ємний. При обертанні ведучого та веденого роторів на стороні входу створюється розрідження, внаслідок чого рідина під тиском атмосфери заповнює западини між зубами і в них переміщується з боку входу на бік виходу. На виході при зачепленні зубів відбувається вичавлювання рідини в систему.

Склад насосу НМШ 2-40-1,6/16.

Насос складається з наступних основних деталей та вузлів: робочого механізму, корпусу з кришкою задньою та стійкою, запобіжного та розвантажувального клапанів, торцевого ущільнення, сальникове набивання. Робочий механізм складається з двох роторів - ведучого та веденого та втулок (підшипників ковзання). Ротори з втулками встановлюються у спеціальні розточування корпусу. З торців корпус закривається кришкою задньою та стійкою.

Підготовка для використання насосів НМШ 2-40.

Насос має бути надійно закріплений болтами за місцем встановлення. При проектуванні фундаментів та перекриттів для встановлення насосних агрегатів мають бути обрані будівельні рішення, що забезпечують гігієнічні норми вібрації на робочих місцях згідно з ГОСТ 12.1.012-90. Навантаження від трубопроводів на напірні та всмоктувальні патрубки не допускаються.

При установці та роботі агрегату у вибухопожежонебезпечних приміщеннях агрегат має бути укомплектований вибухозахищеним двигуном. Місце встановлення агрегату має бути обладнане пристроєм ручного аварійного вимкнення.

Підготовку насоса НМШ 2-40 до роботи проводити в наступній послідовності:

- оглянути насос;
- встановити агрегат НМШ 2-40 на фундамент та закріпити болтами;
- зняти заглушки;
- під'єднати всмоктувальний та нагнітальний трубопроводи;
- перевірити співвісність валів насоса НМШ 2-40 та електродвигуна;



залити насос НМШ 2-40 через отвір, відвернувши пробку, і всмоктуючий трубопровід рідиною, що перекачується;

повністю відкрити вентиля на всмоктувальному та нагнітальному трубопроводі;

приєднати електродвигун до мережі;

зробити пробний пуск насоса НМШ 2-40 і переконається, що обертання вала насоса правильне.

Перед пуском насоса потрібно повернути рукою вал за муфту, щоб переконатися у відсутності заїдань. Періодично перевіряти справність трубопроводів і вентилів, герметичність фланцевих з'єднань, особливо на трубопроводі, що всмоктує. Для виключення можливості попадання механічних домішок на всмоктувальній лінії встановити фільтр з розмірами осередку у світлі не більше 0,25 мм при перекачуванні олій та дизпалива, і не більше 1,0 мм при перекачуванні важких в'язких продуктів.

При агрегуванні насоса НМШ 2-40 та приводу замовником необхідно дотримуватися вимог керівництва з експлуатації. Відповідальність за гарантії та якість у цьому випадку несе замовник.

При експлуатації агрегатів з тиском нижче 0,15 МПа (1,5 кгс/см<sup>2</sup>) для забезпечення змащування поверхонь деталей насоса, що труться, споживачеві необхідно забезпечити в нагнітальній лінії тиск не менше 0,15 МПа (1,5 кгс/см<sup>2</sup>) шляхом установки додаткового опору за допомогою запірної арматури або іншим способом. Для запобігання зливу рідини з насоса НМШ 2-40 після зупинки на всмоктувальній лінії повинен бути передбачений зворотний клапан або на всмоктувальній і нагнітальній лінії виконано коліно (гусак) висотою не менше висоти насоса. Під час роботи періодично слідкувати за показаннями приладів. Різкі коливання стрілок приладів, а також підвищений шум та вібрація характеризують ненормальну роботу насоса. У цьому випадку необхідно зупинити насос НМШ 2-40 та усунути несправність.

### Характеристика агрегата НМШ 2-40-1,6/16

Жидкость - масло

Кинематическая вязкость -  $0,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  ( $10^\circ\text{ВУ}$ )

Частота вращения -  $24 \text{ с}^{-1}$  (1450 об/мин)

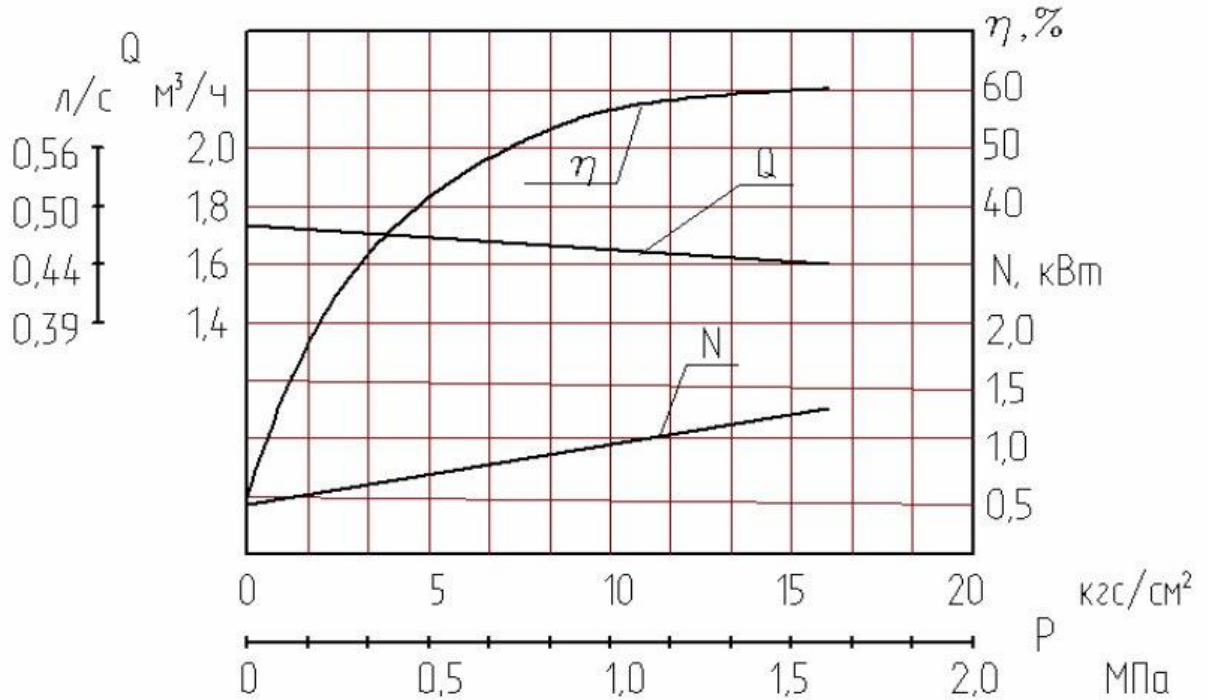
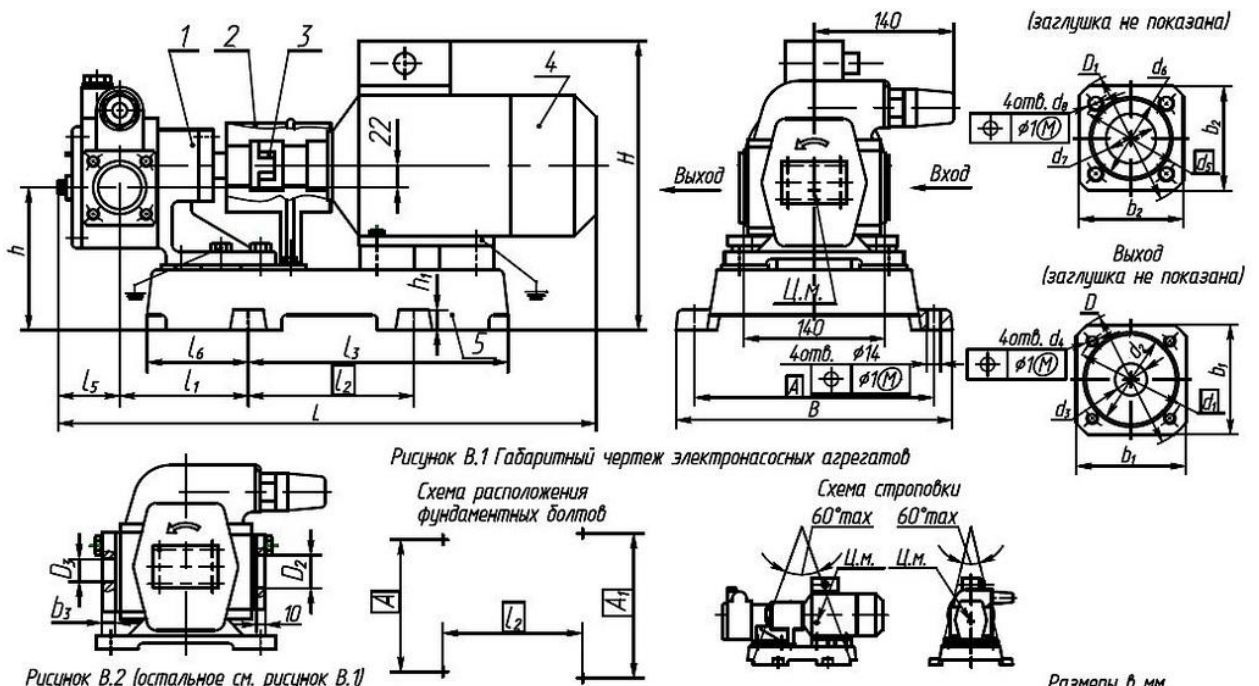


Рисунок 3.1.1. Характеристики насоса



Размеры в мм

Обозначение насоса	$b_1$	$b_2$	$b_4$	$D$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$
НМШ2-40(Б)	80	75	16	105	100	33	26	75	58	20	M12-7H	75	60	25	M10-7H
НМШ5-25(Б)	105	100	18	135	130	45	39	100	78	32	M16-7H	100	80	40	M12-7H
НМШ8-25(Б)	110	110	18	140	140	59						110	90	50	

Рисунок 3.1.2. Габаритні розміри та параметри насоса

### Схема підключення насоса представлена на рисунку 3.1.3

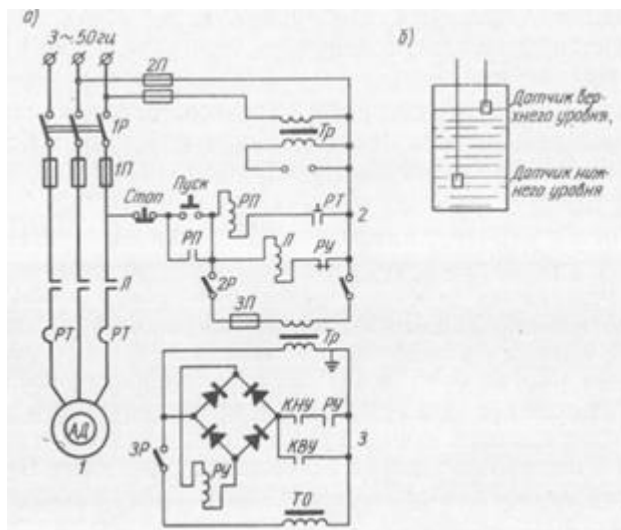


Рисунок 3.1.3. Електрична принципова схема підключення насоса

На рис. 3.1.3а показана електрична схема автоматичної насосної з асинхронним коротко-замкненим двигуном для перекачування моторного мастила 1, станцією ручного управління 2 та постом автоматичного управління 3. Безпоплавковий електродний датчик рівня води в баку водонапірної вежі схематично показаний на рис. 3.1.3б.

Такі насоси живляться енергією від трифазної мережі 380/220 і працюють при температурі навколишнього середовища від  $-40^{\circ}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$  і вологості повітря до 100%.

У холодну пору року верхні контакти датчика рівня необхідно обігрівати для запобігання їх обмерзанню. Потужність трансформатора обігріву 100 Вт.

Перед пуском автоматичної насосної станції вимикачем ІР до контактора Л силового ланцюга та ланцюга управління подається напруга, а вимикачем 2Р готується до роботи пост автоматичного управління. При початковому пуску натискають кнопку «Пуск». Напруга подається до котушки реле РП, що призводить до спрацьовування блок-контакту РП та шунтування кнопки «Пуск». Котушка Л магнітного пускача також спрацьовує. Так як за відсутності води в баку або при недостатньому її рівні контакти реле рівня РЧ закриті і працює електродвигун, насос подає воду в мережу і вежу.

При досягненні водою верхнього рівня контакти реле верхнього рівня КВУ закриваються і по котушці реле рівня РУ йде струм. Реле РУ закриває замикаючі контакти, шунтуючи контакти КВУ, і відкриває контакти, що розмикають, знеструмлюючи котушку Л. Двигун і насос зупиняються. На початку паузи у роботі двигуна розкриваються контакти КВУ, підготовляючи цим схему для подальшої роботи. Під час досягнення водою нижнього рівня розкриваються контакти КНУ. При цьому котушка РУ знеструмлюється, її контакти, що розмикають, закриваються, поживляючи котушку Л. Відбувається повторний пуск двигуна насоса. Замикаючі контакти РУ відкриваються, запобігаючи передчасному вимкненню двигуна.

При нормальній роботі установки реле РП отримує живлення через свої закриті контакти РП і контакти теплових реле РТ, що розмикають.

Станція вимикається з роботи при натисканні на кнопку Стоп або автоматично при спрацьовуванні реле теплового захисту РТ.

Правильний вибір електродвигунів для виробничих механізмів гарантує їхню безперебійність і надійність роботи протягом усього нормативного терміну служби. Це дуже важливий процес, в якому повинні враховуватися багато різних факторів та критеріїв. Одним з найважливіших факторів є облік характеру і типу навантаження.

При виборі електродвигунів для різних верстатів, установок та машин необхідно враховувати різні типи навантаження, тип механічної характеристики, характер та тривалість циклів роботи цих механізмів.

Знаючи те, як зміняться навантаження на валу обраного електродвигуна можна точно визначити те, як зміняться втрати потужності в процесі роботи і, завдяки цьому, вибрати такий електродвигун, який працюючи на дане навантаження не буде перегріватися. Максимальна температура нагрівання ізоляції електродвигуна не перевищуватиме допустиму величину в процесі всього циклу роботи.

Неправильний вибір електродвигунів виробничих механізмів викликає порушення процесів виробництва та призводить до втрат виробленої продукції та додаткових витрат електроенергії.

Електроустаткування з електродвигунами має досить повно відповідати вимогам технологічного процесу.

**Вибір одного з каталожних типів електродвигунів вважається правильним при дотриманні наступних умов:**

- найповніша відповідність електродвигуна робочій машині (виконавчому механізму) за механічними властивостями. Це означає, що електродвигун повинен мати таку механічну характеристику, при якій він міг би повідомляти виконавчий механізм необхідні величини швидкості і прискорень в і перехідних режимах;

- максимальне використання потужності електродвигуна у всіх режимах роботи. Температура всіх активних частин електродвигуна у найважчих режимах роботи повинна максимально наближатися до допустимої за нормами температури нагрівання, але не перевищувати її;

- відповідність електродвигуна виконавчому механізму та умовам навколишнього середовища щодо конструктивного виконання;

- відповідність електродвигуна параметрам електроживлення.

**Для вибору електродвигуна необхідні такі дані:**

- тип та найменування виконавчого механізму;

- максимальна потужність на валу, якщо режим роботи тривалий і навантаження постійна, а в інших випадках - графіки зміни потужності або моменту опору на валу функції часу;

- частота обертання (або діапазон частот обертання) валу виконавчого механізму;

- спосіб зчленування виконавчого механізму з валом електродвигуна (за наявності кінематичних передач вказуються рід передачі та передавальне число);

- величина пускового моменту, яку має забезпечити електродвигун на приводному валу виконавчого механізму;

- межі регулювання частот обертання (верхнє та нижнє значення та відповідні їм величини потужностей та моментів);
- потрібна якість (плавність, ступінчастість) регулювання частоти обертання;
- частота включень приводу протягом години;
- характеристики довкілля.

Вибір електродвигуна на основі обліку всіх умов та номінальних даних проводиться за каталогами.

Можливі режими роботи електроприводів відрізняються величезним різноманіттям за характером і тривалістю циклів, значення навантажень, умов охолодження, співвідношення втрат у період пуску і руху, що встановився і т.п., тому виготовлення електродвигунів для кожного з можливих режимів роботи електроприводу не має практичного сенсу.

З аналізу реальних режимів виділено спеціальний клас режимів - номінальні режими, котрим проектуються і виготовляються серійні двигуни.

Дані, що містяться в паспорті електричної машини, відносяться до певного номінального режиму та називаються номінальними даними електричної машини.

Заводи-виробники гарантують під час роботи електродвигуна у номінальному режимі при номінальному навантаженні повне використання їх у тепловому відношенні.

Чинним ГОСТом передбачаються 8 **номінальних режимів**, які відповідно до міжнародної класифікації мають умовні позначення **S1 - S8**.

**Тривалий режим роботи S1** - робота машини при постійному навантаженні досить тривалий час для досягнення постійної температури всіх її елементів.

**Короткочасний режим роботи S2** - робота машини при постійному навантаженні протягом часу, недостатнього для досягнення всіма частинами машини встановленої температури, після чого слід зупинка машини на час, достатній для охолодження машини до температури, не більше ніж на 2°C перевищує температуру навколишнього середовища. Для короткочасного режиму роботи нормується тривалість робочого періоду 15, 30, 60, 90 хв.

**Повторно-короткочасний режим роботи S3** - послідовність ідентичних циклів роботи, кожен з яких включає час роботи при незмінному навантаженні, за яке машина не нагрівається до температури, що встановилася, і час стоянки, за яке машина не охолоджується до температури навколишнього середовища.

У цьому режимі цикл роботи такий, що пусковий струм не помітно впливає на перевищення температури. Тривалість циклу є недостатньою для досягнення теплової рівноваги і не перевищує 10 хв. Режим характеризується величиною тривалості включення у відсотках:

Двигуни, що випускаються промисловістю для такого режиму роботи, характеризуються тривалістю включення (ПВ), яка встановлюється за тривалістю одного циклу роботи

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_{\Pi}} \cdot 100\% \quad (3.1.25)$$

де  $t_p$  - час роботи двигуна;  $t_{\Pi}$  - час паузи.

Нормовані значення тривалості включення: 15, 25, 40, 60% або відносні значення тривалості робочого періоду: 0,15; 0,25; 0,40; 0,60. Для режиму S3 номінальні дані відповідають лише певному значенню ПВ та відносяться до робочого періоду.

Режими S1 - S3 є в даний час основними, номінальні дані на які включаються вітчизняними електромашинобудівними заводами каталоги та паспорт машини.

Для обґрунтованого вибору двигуна за потужністю слід знати, як змінюється навантаження на валу двигуна в часі, що дозволяє судити про характер зміни втрат потужності.

Крім того, слід з'ясувати, як відбувається процес нагрівання двигуна в результаті виділення в ньому втрат енергії. Такий підхід дозволяє вибрати двигун таким чином, щоб максимальна температура ізоляції обмоток не перевищувала допустиму величину. Ця умова є одним із основних для забезпечення надійної роботи двигуна протягом усього терміну експлуатації.

Вибір потужності електродвигуна повинен проводитись відповідно до характеру навантажень робочої машини. Цей характер оцінюють за двома ознаками:

- за номінальним режимом роботи;
- зі змін величини споживаної потужності.

Потужність електродвигуна має задовольняти трьом умовам:

- нормального нагрівання під час роботи;
- достатню перевантажувальну здатність;
- достатнього пускового моменту.

Вибір електродвигунів з так званим «запасом за потужністю», виходячи з найбільшого можливого за графіком навантаження, веде до недовикористання електродвигуна, а отже, до збільшення капітальних витрат та експлуатаційних витрат за рахунок зниження коефіцієнтів потужності та корисної дії. Надмірне збільшення потужності електродвигуна може призвести до ривків під час розгону.

Якщо електродвигун повинен працювати довго з постійним або мало мінливим навантаженням, то визначення потужності його не становить труднощів і проводиться за формулами. Значно складнішим є вибір потужності електродвигунів інших режимів роботи.

Короткочасне навантаження характеризується тим, що періоди включення короткі, а паузи є достатніми для повного охолодження електродвигуна. При цьому приймається, що навантаження електродвигуна в період включення зберігається постійною або майже постійною.

Для того, щоб у цьому режимі електродвигун був правильно використаний по нагріванню, необхідно вибрати його так, щоб його тривала потужність (вказана в каталогах) була меншою за потужність, що відповідає короткочасному навантаженню, тобто щоб електродвигун у періоди своєї короткочасної роботи мав теплове навантаження .



Якщо періоди роботи електродвигуна значно менше часу, необхідного для його повного нагріву, але паузи між періодами включення істотно коротші за час повного охолодження, то має місце повторно-короткочасне навантаження.

### **Розрахунок потужності та вибір двигуна для тривалого режиму роботи**

При постійному або малозмінному навантаженні на валу потужність двигуна повинна лише трохи перевищувати потужність навантаження. При цьому має задовольнятися умова:

$$P_H \geq P,$$

де  $P_H$  – номінальна потужність двигуна;  $P$  – потужність навантаження. Вибір двигуна зводиться до вибору за каталогом.

Вибір потужності двигуна за тривалого режиму роботи. Якщо момент та потужність виробничого механізму не змінюється, то має бути обраний двигун з номінальною потужністю  $P_H$ , що дорівнює потужності навантаження з урахуванням втрат у трансмісії (редукторі):

$$P_H \geq P_M / \eta_T, \text{ Вт} \quad (3.1.26)$$

де  $\eta_T$  - ККД трансмісії (редуктора).

При заданому моменті опору виконавчого механізму  $M_c$ , Н·м та частоті обертання вихідного валу редуктора  $n_2$ , об/хв.

$$P_M = M_c \cdot \omega_2, \text{ Вт} \quad (3.1.27)$$

де  $\omega_2 = 2\pi \cdot n_2 / 60$ , рад/с

Для деяких виробничих механізмів, що працюють у тривалому режимі з постійним моментом опору на валу, є наближені формули визначення потужності двигунів.

### **Розрахунок потужності та вибір двигуна для короткочасного навантаження**

Двигуни для короткочасного режиму роботи електроприводу вибирають за номінальною потужністю, яка повинна дорівнювати потужності навантаження з урахуванням тривалості роботи. Стандартні допустимі значення двигунів, що випускаються промисловістю для короткочасної роботи, становлять 10, 30, 60, 90 хв.

За відсутності двигунів короткочасного режиму роботи можна встановлювати двигуни повторно короткочасного режиму. У цьому тривалість роботи 30 хв відповідає ПВ = 15%, 60 хв відповідає ПВ = 25%, а 90 хв відповідає ПВ = 40%. В крайньому випадку можливе застосування двигунів для тривалого режиму роботи з  $P_H < P$  і подальшою їх перевіркою на тепловий режим.

### **Розрахунок потужності та вибір двигуна для повторно-короткочасного режиму.**

Для електроприводу, що працює в повторно-короткочасному режимі, потужність двигуна розраховують методом середніх втрат або еквівалентних величин. Перший метод точніший, але більш трудомісткий. Найзручніше користуватися методом еквівалентних величин. Залежно від заданого графіка навантаження  $P = f(t)$ ,  $M = f(t)$ ,  $I = f(t)$  визначають середньоквадратичні величини, які називають еквівалентними.

Еквівалентна потужність є середньоквадратичною потужністю навантажувальної діаграми.

$$P_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{P^2_1 \cdot t_1 + P^2_2 \cdot t_2 + \dots + P^2_k \cdot t_k}{t_1 + t_2 + \dots + t_k}} \quad (3.1.28)$$

де  $t_1, t_2, \dots, t_k$  - проміжки часу, в які потужність навантаження відповідно дорівнює  $P_1, P_2, \dots, P_k$ .

За каталогом для отриманих значень  $P_{\text{ЭКВ}}$  та ПВ вибирають номінальну потужність двигуна з умови  $P_H \geq P_{\text{ЭКВ}}$ .

Якщо задана діаграма  $M = f(t)$ , то еквівалентний момент:

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{M^2_1 \cdot t_1 + M^2_2 \cdot t_2 + \dots + M^2_k \cdot t_k}{t_1 + t_2 + \dots + t_k}} \quad (3.1.29)$$

а еквівалентну потужність при частоті обертання  $n$  визначають за виразом:

$$P_{\text{ЭКВ}} = M_{\text{ЭКВ}} \cdot n / 9550 \text{ (кВт)}. \quad (3.1.30)$$

Якщо задана діаграма  $I = f(t)$ , еквівалентний по нагріванню струм:

$$I_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{I^2_1 \cdot t_1 + I^2_2 \cdot t_2 + \dots + I^2_k \cdot t_k}{t_1 + t_2 + \dots + t_k}} \quad (3.1.31)$$

Розрахункове значення  $PB_p$  часто відрізняється від стандартних значень, тому або округляють отримане значення  $PB_p$  до найближчого стандартного, або перераховують еквівалентну потужність за формулою:

$$P_p = P_{\text{ЭКВ}} \sqrt{\frac{PB_p}{PB}} \quad (3.1.32)$$

При роботі спостерігаються короточасні навантаження, які перевищують номінальну потужність двигуна. Вони не впливають на нагрівання двигунів, але можуть призвести до нестійкої роботи або зупинки. Тому двигун необхідно перевіряти на перевантажувальну здатність за виразом:

$$P_m/P_H = k_u \cdot M_m/M_H, \quad (3.1.33)$$

де  $P_m$  - найбільша потужність у навантажувальній діаграмі;  $M_m/M_H$  - кратність максимального моменту визначають за каталогом; коефіцієнт  $k_u = 0,8$  враховує можливе зниження напруги у мережі.

Якщо ця умова не виконується, слід вибрати по каталогу двигун більшої потужності і знову перевірити його на перевантажувальну здатність.

### **Умови вибору електродвигуна**

Вибір одного з каталожних типів електродвигунів вважається правильним при дотриманні наступних умов:

а) найповніша відповідність електродвигуна робочій машині (приводу) за механічними властивостями. Це означає, що електродвигун повинен мати таку механічну характеристику, при якому він міг би повідомляти приводу необхідні величини швидкості та прискорень як при роботі, так і при пуску в хід;

б) максимальне використання потужності електродвигуна у процесі роботи. Температура всіх активних частин електродвигуна у найважчих режимах роботи повинна максимально наближатися до обумовленої за нормами температури нагрівання, але не перевищувати її;

в) відповідність електродвигуна приводу та умовам навколишнього середовища за конструктивним виконанням;

г) відповідність електродвигуна параметрам мережі живлення.

Для вибору електродвигуна необхідні такі вихідні дані:

а) найменування та тип механізму;

б) максимальна потужність на приводному валу механізму, якщо режим роботи тривалий і навантаження постійна, а в інших випадках - графіки зміни потужності або моменту опору функції від часу;

в) швидкість обертання приводного валу механізму;

г) спосіб зчленування механізму з валом електродвигуна (за наявності передач вказуються рід передачі та передавальне число);

д) величина моменту під час пуску, яку повинен забезпечити електродвигун на приводному валу механізму;

е) межі регулювання швидкості наведеного механізму із зазначенням верхнього та нижнього значень швидкостей та відповідних їм величин потужності та моменту;

ж) характер та якість (плавність, ступінчастість) необхідного регулювання швидкості;

з) частота пусків чи включень приводу протягом години;

і) характеристика довкілля.

Вибір електродвигуна на основі обліку всіх умов проводиться за каталожними даними.

Для механізмів широкого застосування вибір електродвигуна значно спрощується за рахунок даних, що містяться у відповідних інформаціях заводів-виробників, і зводиться до уточнення типу електродвигуна стосовно параметрів мережі та характеру навколишнього середовища.

### **Вибір електродвигунів за потужністю.**

Вибір потужності електродвигуна повинен проводитись відповідно до характеру навантажень робочої машини. Цей характер оцінюють за двома ознаками:

- а) за номінальним режимом роботи;
- б) щодо змін величини споживаної потужності.

Розрізняють такі режими роботи:

а) тривалий (тривалий), коли робочий період настільки великий, що нагрівання електродвигуна досягає свого значення (наприклад у насосів, стрічкових транспортерів, вентиляторів тощо);

б) короткочасний, коли тривалість робочого періоду недостатня задля досягнення електродвигуном температури- нагрівання, відповідної даної навантаженні, а періоди зупинки, навпаки, достатні для охолодження електродвигуна до температури довкілля. У цьому режимі можуть працювати електродвигуни найрізноманітніших механізмів;

в) повторно-короткочасний - з відносною тривалістю включення 15, 25, 40 і 60% при тривалості одного циклу не більше 10 хв (наприклад, у підйомних кранів, деяких верстатів, однопостових зварювальних двигунів-генераторів тощо).

За змінами величини споживаної потужності розрізняються такі випадки:

а) постійне навантаження, коли величина споживаної потужності протягом роботи постійна або має незначні відхилення від середнього значення, як, наприклад, у відцентрових насосів, вентиляторів, компресорів з постійною витратою повітря тощо;

б) змінне навантаження, коли величина споживаної потужності періодично змінюється, як, наприклад, у екскаваторів, кранів, деяких верстатів тощо;

в) пульсуюче навантаження, коли величина споживаної потужності змінюється безперервно, як, наприклад, у поршневих насосів, шокових дробарок, гуркотів тощо.

**Потужність електродвигуна повинна відповідати трьом умовам:**

- а) нормального нагрівання під час роботи;
- б) достатньої перевантажувальної здатності;
- в) достатнього пускового моменту.

Усі електродвигуни поділяються на дві основні групи:

- а) для тривалого режиму роботи (без обмеження тривалості включення);
- б) для повторно-короткочасного режиму з тривалістю включення 15, 25, 40 та 60%.

Для першої групи в каталогах і паспортах вказується тривала потужність, яку електродвигун може розвивати необмежено довго, для другої групи - потужність, яку електродвигун може розвивати, працюючи з перервами скільки завгодно тривалий час за певної тривалості включення.

Правильно обраним у всіх випадках вважається такий електродвигун, який, працюючи з навантаженням на графіку, заданому робочою машиною, досягає повного допустимого нагріву всіх своїх частин. Вибір електродвигунів з так званим «запасом за потужністю», виходячи з найбільшого можливого за графіком навантаження, веде до недовикористання електродвигуна, а отже, до збільшення капітальних витрат та експлуатаційних витрат за рахунок зниження коефіцієнтів потужності та корисної дії.

Надмірне збільшення потужності електродвигуна може призвести до ривків під час розгону.

Якщо електродвигун повинен працювати довго з постійним або мало мінливим навантаженням, то визначення потужності його не становить труднощів і проводиться за формулами, що зазвичай включають емпіричні коефіцієнти.

Значно складнішим є вибір потужності електродвигунів інших режимів роботи.

Короткочасне навантаження характеризується тим, що періоди включення короткі, а паузи є достатніми для повного охолодження електродвигуна. При цьому приймається, що навантаження електродвигуна в період включення зберігається постійною або майже постійною.

Для того щоб у цьому режимі електродвигун був правильно використаний по нагріванню, необхідно вибрати його так, щоб його тривала потужність (вказана в каталогах) була меншою за потужність, що відповідає короткочасному

навантаженню, тобто щоб електродвигун у періоди своєї короткочасної роботи мав теплове навантаження.

Якщо періоди роботи електродвигуна значно менше часу, необхідного для його повного нагріву, але паузи між періодами включення істотно коротші за час повного охолодження, то має місце повторно-короткочасне навантаження.

Практично слід розрізняти два види такої роботи:

а) навантаження в період роботи за величиною постійне  $i$ , отже, графік її зображається прямокутниками, що чергуються з паузами;

б) навантаження в період роботи змінюється за більш менш складним законом.

В обох випадках завдання вибору електродвигуна за потужністю може бути вирішено як аналітично, так і графічно. Обидва ці способи є досить складними, тому практично рекомендується спрощений метод еквівалентних величі, що включає три способи:

- а) середнього квадратичного струму;
- б) середньої квадратичної потужності;
- в) середнього квадратичного моменту.

### **Перевірка механічної перевантажувальної здатності електродвигуна**

Після вибору потужності електродвигуна за умовами нагрівання необхідно провести перевірку механічної перевантажувальної здатності електродвигуна, тобто переконатися, що максимальний момент навантаження за графіком під час роботи і момент при пуску не перевищуватиме значення максимального моменту за каталогом.

У асинхронних і синхронних електродвигунів величина допустимого механічного навантаження обумовлюється їх перекидальним електромагнітним моментом, після досягнення якого ці електродвигуни зупиняються.

Кратність максимальних моментів по відношенню до номінальних повинна становити 1,8 у трифазних асинхронних електродвигунів з контактними кільцями не менше 1,65 у таких короткозамкнутих електродвигунів. Кратність максимального моменту синхронного електродвигуна повинна бути також не

нижче 1,65 при номінальних напругах, частоті та струмі збудження, з коефіцієнтом потужності 0,9 (при випереджаючому струмі).

Практично асинхронні та синхронні електродвигуни мають механічну перевантажувальну здатність до 2-2,5, а в деяких спеціальних електродвигунів ця величина підвищується до 3-3,5.

Допустиме перевантаження електродвигунів постійного струму визначається умовами роботи і за ГОСТом становить по моменту від 2 до 4, причому нижня межа відноситься до електродвигунів з паралельним, а верхній - до електродвигунів з послідовним збудженням.

Якщо мережа живлення та розподільна чутливі до навантаження, то перевірка механічної перевантажувальної здатності повинна проводитися з урахуванням втрат напруги в мережах.

Для асинхронних короткозамкнених та синхронних електродвигунів кратність початкового моменту має бути не менше 0,9 (стосовно номінального).

Насправді кратність початкового моменту у електродвигунів з подвійною білиною клітиною і з глибоким пазом значно вища і досягає 2-2,4.

При виборі потужності електродвигуна слід пам'ятати, що у нагрівання електродвигунів впливає частота включень. Допустима частота включень залежить від нормального ковзання, махового моменту ротора та кратності пускового струму.

Асинхронні електродвигуни нормальних типів допускають без навантаження від 400 до 1000, а електродвигуни з підвищеним ковзанням - від 1100 до 2700 включень на годину. При пуску під навантаженням допустима кількість включень значно скорочується.

Пусковий струм електродвигунів з короткозамкненим ротором має велику величину, і ця обставина в умовах частих пусків, особливо при підвищеному часі розгону, має важливе значення.

На противагу електродвигунам з фазовим ротором, у яких частина тепла, що утворюється при пуску, виділяється в реостаті, тобто поза машиною, у короткозамкнених електродвигунах все тепло виділяється в самій машині, що



зумовлює її підвищений нагрівання. Тому вибір потужності цих електродвигунів слід проводити з урахуванням нагрівання під час численних пусків.

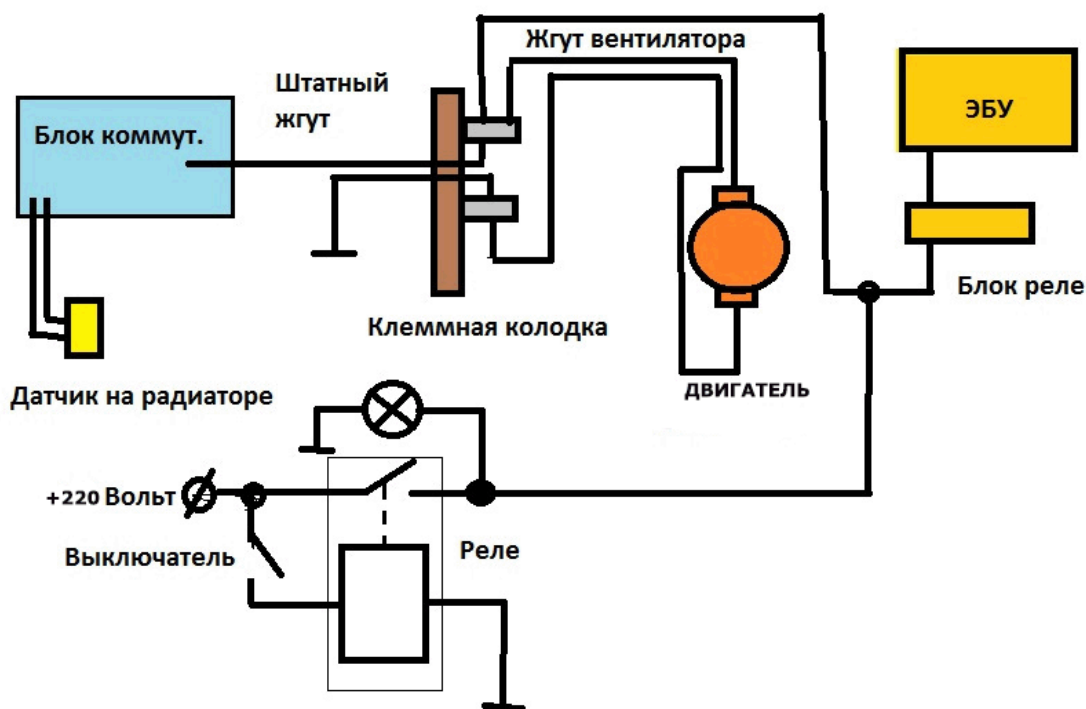


Рис.3.1.4 . Схема підключення електродвигуна.

Враховуючи, що насос працює в режимі частих пусків, то при частих пусках і непостійності навантаження найбільш надійний, економічний і простий в експлуатації асинхронний двигун із короткозамкненим ротором.

Згідно з розрахунковими параметрами застосовуємо АІР90L4 – трифазний асинхронний електродвигун 2,2 кВт 1500 об/хв із короткозамкненим ротором.

Характеристика електродвигуна АІР90L4:

1. Потужність 2,2 кВт
2. Частота обертання поля статора 1500 об/хв
3. Швидкість обертання валу 1410 оборотів
4. Тип Асинхронний
5. Напряга живлення Трифазна, 220/380 вольт

## **3.2. Обґрунтування вибору фільтра грубого очищення та сепаратора для видалення води.**

### **3.2.1. Вихідні дані**

Відомо, що експлуатаційні характеристики фільтрів безпосередньо залежать від властивостей фільтраційних матеріалів, що використовуються у цих фільтрах. Істотно підвищити якість очищення робочих рідин гідравлічних систем можна за рахунок застосування досить ефективних матеріалів, що фільтрують, які повинні задовольняти певним вимогам:

- створювати мінімальний гідравлічний опір при досить високій питомій пропускну здатності;

- забезпечувати задану тонкість та повноту фільтрування, що не знижується в процесі експлуатації;

- мати високий ресурс роботи та зберігати експлуатаційні властивості на всьому протязі роботи;

- володіти необхідними властивостями міцності, в тому числі при впливі знакозмінних і вібраційних навантажень;

- не знижувати механічної міцності та інших показників при нагріванні та охолодженні у всьому діапазоні робочих температур;

- не піддаватися руйнівному впливу робочої рідини, що очищається;

- не погіршувати властивості робочої рідини при контактуванні із нею; задовольняти технологічні вимоги, що забезпечують обробку

- матеріалу, його герметизацію, гофрування та інші операції, необхідні при виготовленні з нього елементів, що фільтрують;

- не генерувати електростатичні заряди в процесі фільтрування робочої рідини;

- мати досить високі економічні показники (невисока вартість, недефіцитність сировини тощо);

- відновлювати свої фільтруючі та гідравлічні властивості при регенерації матеріалу після вироблення його ресурсу роботи, а у разі одноразового використання – забезпечувати повну утилізацію відпрацьованого матеріалу.

У сучасних фільтрах для очищення нафтопродуктів застосовуються різноманітні матеріали, що відрізняються своїми фільтруючими показниками, фізико-хімічними властивостями, хімічним складом та геометричною будовою вихідної сировини, способом виготовлення тощо.

Основними даними для розрахунку приймаємо:

1. Номінальна пропускна здатність – 10 л/хв
2. Тонкість фільтрації – 25 мкм
3. Номінальний тиск – 0,63 МПа
4. Фільтроелемент – 642-1-05
5. Матеріал фільтруючого елемента 15 МФ

### **3.2.2 Осадження частинок забруднень у структурі пористої перегородки.**

Внаслідок полідисперсності забруднень, що містяться в робочій рідині, ці процеси можуть відбуватися за двома або декількома з перерахованих видів (таблиця 3.2.1):

З огляду на те, що у робочих рідинах гідравлічних систем забруднення присутні у порівняно невеликих кількостях, тобто. ці рідини є малоконцентрованими суспензіями, можна вважати, що взаємодія частинок забруднень, що містяться в них, з порами фільтраційного матеріалу відбувається за першими двома видами - з повним або частковим закупорюванням пір, а утворення зведень і відкладення осаду, характерні для висококонцентрованих суспензій, можна виключити з розгляду.

Розміри частинок забруднень, що містяться в робочій рідині, можуть коливатися у широких межах. Ці частинки утворюють з робочою рідиною полідисперсну систему, тому можна стверджувати, що їхня взаємодія з порами фільтраційного матеріалу відбуватиметься одночасно за двома видами - з повним та поступовим закупорюванням пір, тобто відповідати механізму, наведеному на схемі 5в (таблиця 3.2.1).

Таблиця 3.2.1

№ виду механізму взаємодії частинок забруднень та пор матеріалу	Вид механізму взаємодії частинок забруднення та пор матеріалу	Співвідношення розміру частинок, $d_r$ та діаметру пор, $d_p$		
		$d_2 \geq d'_n$	$d_2 < d'_n$	$d_2 >< d'_n$
		а	б	в
1	Повне закупорювання пор			
2	Часткове поступове закупорювання пор			
3	Проміжний вид (освіта зведень)			
4	Відкладення осаду			
5(1+2)	Однчасне повне або часткове (поступове) закупорювання пор			
6(1+3)	Однчасне повне закупорювання пор та утворення зведень			

Взаємодія однорідного фільтраційного матеріалу з фіксованим діаметром пор і полідисперсних частинок забруднень слід розглядати як імовірнісний процес, що визначається співвідношенням розмірів частинок та діаметра пор. Це дозволяє не заглиблюватися в досить складні і недостатньо вивчені явища, що супроводжують цей процес і викликані комплексним впливом на частинки різних сил, що забруднюють рідину — гідродинамічних, гравітаційних, дифузійних, електростатичних, адгезійних, гравітаційних і т.п. У аналізованому випадку сумарний ефект затримки частинок забруднень в пористому середовищі являє собою суму ефектів повного закупорювання пор частинками, що блокують ці пори зовні, за схемою 1а (таблиця 3.2.1), і часткового закупорювання пор частинками, що осіли на їх внутрішній поверхні, за схемою 2 таблиці 3.2.1). Сумарний ефект, як зазначалося вище, можна графічно зобразити схемою 5в (таблиця 3.2.1). Очевидно, що ресурсна характеристика фільтраційного матеріалу при взаємодії частинок забруднень з його порами буде різною у випадках, представлених на схемах 1а та 2б, а у випадку 5в ресурс фільтраційного матеріалу матиме якесь проміжне значення.

Основне рівняння процесу очищення робочої рідини фільтруванням може бути представлене у вигляді виразу, що характеризує інтенсивність зростання загального опору пористої перегородки в процесі затримки нею частини забруднень, яке для випадку фільтрування з постійною швидкістю матиме вигляд:

$$\frac{d\Delta P}{d\tau} = k_r \cdot \Delta P^b \quad (3.2.1)$$

При  $V_\phi - V_{\phi 0} = \text{const}$ ,

де  $\Delta P$  - гідравлічний опір пористої перегородки, Па;  $\tau$  - тривалість фільтрування, с;  $k_r$  - постійне очищення (коефіцієнт пропорційності), Па,  $\Delta P^b$  - показник ступеня, що визначається видом фільтрування; (при повному закупорюванні пір  $b = 2$ , при поступовому закупорюванні пір  $b = 3/2$ );  $V_{\phi 0}$  - початкова фіктивна швидкість фільтрування, м/с.

Слід зазначити, що вираз є засобом обробки результатів експериментальних досліджень та їх подання у математичній формі, тому в ньому не міститься інформація про вплив різних факторів на закономірності фільтрування робочої рідини, однак цей вираз можна використовувати для порівняння інтенсивності зростання опору фільтраційного матеріалу при різних взаємодіях частинок і досі.

Проінтегрувавши вираз, отримаємо:

$$\tau = \frac{1}{k_r(b-1)} \left[ \left( \frac{1}{\Delta P_0} \right)^{b-1} - \left( \frac{1}{\Delta P} \right)^{b-1} \right] \quad (3.2.2)$$

підставляючи у вираз (2.29) значення показника ступеня при фільтруванні з повним та поступовим закупорюванням пір, знаходимо:

при повному закупорюванні пір

$$\tau_1 = \frac{1}{k_{r1}} \left( \frac{1}{\Delta P_0} - \frac{1}{\Delta P} \right) \quad (3.2.3)$$

при поступовому закупорюванні пір

$$\tau_2 = \frac{1}{k_{r2}} \left( \frac{1}{\sqrt{\Delta P_0}} - \frac{1}{\sqrt{\Delta P}} \right) \quad (3.2.4)$$

Порівнюючи ресурс роботи фільтраційного матеріалу в обох випадках, після перетворень отримаємо

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{k_{r2}}{k_{r1}} \cdot \frac{\Delta P^{\frac{1}{2}} + \Delta P_0^{\frac{1}{2}}}{\Delta P^{\frac{1}{2}} + \Delta P_0^{\frac{1}{2}}} \quad (3.2.5)$$

Оскільки величини  $\Delta P^{\frac{1}{2}}$  и  $\Delta P_0^{\frac{1}{2}}$  - позитивні числа, їх сума менше подвоєного твору, а аналіз коефіцієнтів пропорційності показує, що  $k_{r1} > k_{r2}$ , на підставі виразу (2.32) можна стверджувати, що інтенсивність зростання загального гідравлічного опору при фільтруванні з поступовим закупорюванням пір менше порівняно з процесом, що супроводжується повним закупорюванням пір. При одночасному здійсненні обох процесів (схема 5в таблиця 3.2.1) ресурс роботи фільтраційного матеріалу  $\tau_5$  матиме проміжне значення ( $\tau_1 < \tau_5 < \tau_2$ ), визначається кількістю в рідині частинок з розмірами більше і менше діаметра

пор матеріалу. Отже, ресурс роботи фільтраційного матеріалу можна збільшити, якщо здійснювати процес фільтрування в режимі поступового закупорювання пор частинками забруднень та виключити можливість повного закупорювання цими частинками.

Для забезпечення процесу фільтрування робочої рідини в потрібному режимі доцільно застосовувати для її очищення фільтроелементи багатоступінчастої конструкції, використовуючи для виготовлення кожного з ступенів фільтраційний матеріал з різним діаметром пор, вибраний таким чином, щоб у даному ступені взаємодія частинок забруднень з пористою структурою здійснювалася відповідно до механізму поступового закупорювання пір.

### **3.2.3 Характеристики порової структури та ефективність фільтрування.**

Для спрощення конструкції фільтроелементу при очищенні робочих рідин гідравлічних систем бульдозерів і гірських машин можна обмежитися двоступінчастим фільтроелементом. При цьому слід враховувати, що гідравлічні системи обладнуються фільтрами грубої очистки, які встановлюються, як правило, на вході в систему і службовцями для видалення з робочої рідини найбільших часток забруднень.

Визначимо оптимальне співвідношення діаметрів пір першого та другого ступенів з наступних міркувань - коефіцієнт відфільтрування частинок забруднень  $i$ -го розміру для випадку, коли всі пори фільтраційного матеріалу мають однаковий діаметр, може бути визначений шляхом використання ймовірнісної формули:

$$\varphi_1 = 1 - \frac{n_1}{N} P_{(1)} \quad (3.2.6)$$

де  $\varphi_1 = \frac{n_{10} - n_{1\phi}}{n_{10}}$  - коефіцієнт відфільтрування частинок забруднень  $i$ -го розміру;  $n_{10}$  і  $n_{1\phi}$  — кількість частинок  $i$ -го розміру відповідно до та після фільтроелементу, шт.;  $n_1$  - кількість частинок  $i$ -го розміру, що пройшли через фільтроелемент, шт.;  $N$  - кількість пір фільтраційного матеріалу, шт.;  $P_{(1)}$  - можливість проходу частинок  $i$ -го розміру через пори фільтраційного матеріалу.

Імовірна оцінка можливості затримки частинок у порах фільтраційного матеріалу залежить від співвідношення розміру частинки і діаметру пори. Експериментально отримано наступні значення ймовірності проходу часток забруднень через пори [54], які відображені в таблиці 3.2.2:

Таблиця 3.2.2

Співвідношення розмірів пори та частки, $\frac{d_{\text{ч}}}{d_{\text{п}}}$	$> 1/3$	$1/3$	$< 1/3$
Імовірність проходу частинок N-го розміру через пору, $P_{(i)}$ :	0	0.75	1

За допомогою наведених співвідношень можна встановити розміри пор фільтраційного матеріалу, з якого слід виготовляти перший і другий ступені фільтроелементу. За відсутності повного закупорювання пор фільтраційного матеріалу частинками забруднень та затримки всіх частинок, розміри яких перевищують вимоги до чистоти робочих рідин, умова, за якої виключається прохід таких частинок через фільтраційний матеріал, описується співвідношенням між діаметром пор цього матеріалу та розмірами частинок:

$$\frac{1}{3}d_{\text{п}} < d_{\text{ч}} < d_{\text{п}}$$

Відповідно до викладеного вимоги, що пред'являються до чистоти робочої рідини гідравлічних систем бульдозерів та гірських машин, тонкість очищення цієї рідини повинна становити 5 мкм. Отже, другий ступінь фільтроелементу повинен мати відповідну тонкість очищення, що забезпечується при діаметрі пір цього ступеня менше 15 мкм.

Приймемо діаметр пір другого ступеня фільтроелементу рівним 15 мкм. Частинки забруднень, що надходять на другий ступінь відповідно до лівої частини нерівності (2.34), повинні бути менше 15 мкм. Для забезпечення цієї



умови приймемо діаметр пір першого ступеня фільтроелементу 45 мкм. Тоді відповідно до нерівності (2.34) частинки забруднень, що надходять на перший ступінь, повинні бути менше 45 мкм. Ця умова забезпечується наявністю в гідравлічних системах бульдозерів та гірських машин фільтру грубого очищення, виготовленого із сітки № 0,100 із розміром осередків 100 мкм. У ряді гідравлічних систем бульдозерів та гірських машин застосовуються фільтри грубого очищення та сіток саржевого плетіння №№ 0,125 та 0,150 з розмірами осередків відповідно 125 та 150 мкм. Використання таких фільтрів також забезпечує виконання вимоги, вираженого нерівністю (2.34).

Пристрій фільтруючого елемента показано на кресленні загального вигляду. Основними частинами фільтруючого елемента є порожнистий циліндр з великопористого ПГС-полімеру та пакет дисків чечевической форми з дрібнопористого ПГС-полімеру. По торцях циліндра розташовані заглушки. Одна заглушка глуха, а інша має отвір.

Заглушки виготовлені з поліетилену або іншого маслобензостійкого полімеру.

Очищення робочої рідини у елементі, що фільтрує, відбувається наступним чином. Робоча рідина проходить через пористі стінки циліндра з ПГС-полімеру, де очищається від великих забруднень, потім очищена робоча рідина з внутрішньої порожнини циліндра через отвір у заглушці надходить у комунікацію гідравлічної системи

Залишки сміття залишаються на ножі і випадають в осад у спеціальне відділення, яке згодом піддається знімання та очищення

Пристрій фільтруючого елемента показано на рисунку 3.2.3.1. Основними частинами фільтруючого елемента є порожнистий циліндр з великопористого ПГС-полімеру та пакет дисків чечевической форми з дрібнопористого ПГС-полімеру. По торцях циліндра розташовані заглушки. Одна заглушка глуха, а інша має отвір.

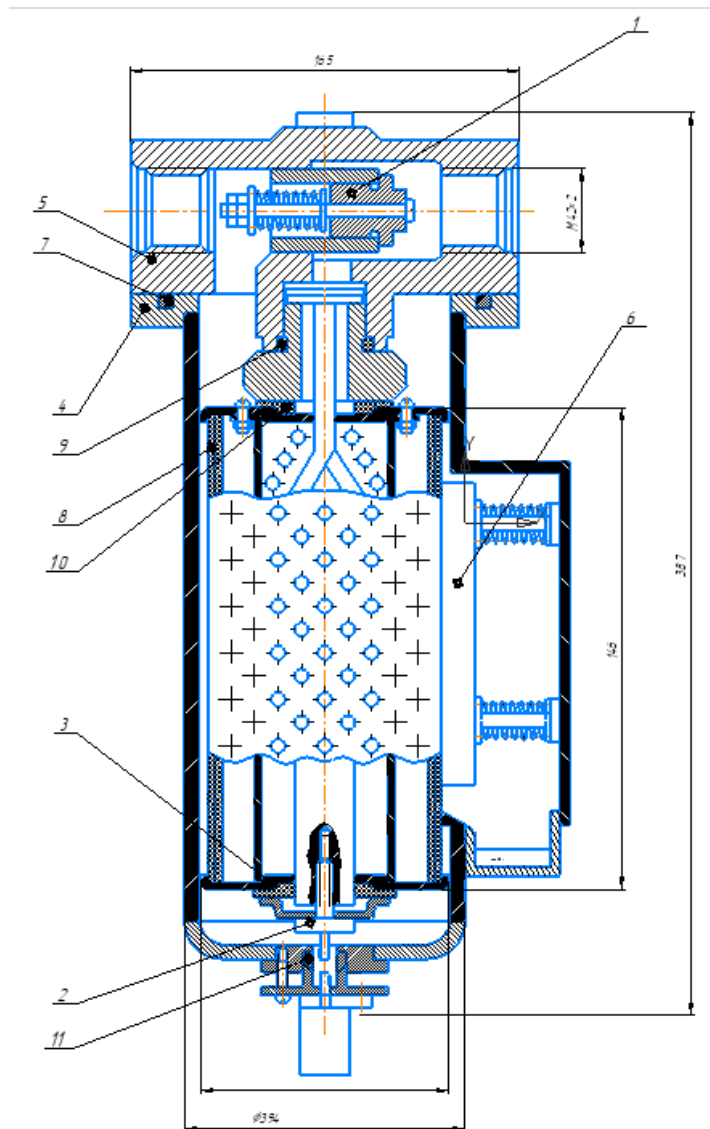


Рисунок 3.2.3.1. Фільтр грубого очищення зі змінним очисником

Заглушки виготовлені з поліетилену або іншого маслобензостійкого полімеру.

Очищення робочої рідини у елементі, що фільтрує, відбувається наступним чином. Робоча рідина проходить через пористі стінки циліндра з ПГС-полімеру, де очищається від великих забруднень, потім очищена робоча рідина з внутрішньої порожнини циліндра через отвір у заглушці надходить у комунікацію гідравлічної системи

Залишки сміття залишаються на ножі і випадають в осад у спеціальне відділення, яке згодом піддається знімання та очищення

### **3.2.4. Сепаратор для видалення води**

Як для очищення мастила застосовуємо сепаратор для очищення олії ПСМ 2-4.

Установка пересувна сепараторна маслоочисна ПСМ2-4 (надалі по тексту – установка) призначена для сушіння під вакуумом трансформаторних масел, а також відокремлення їх від води та очищення від механічних домішок.

Установка може бути використана для аналогічного очищення мінеральних мастил, що мають в'язкість при температурі 500°С не більше 70мм<sup>2</sup>/с (Ст).

#### **Робота установки може здійснюватися у таких режимах:**

- кларифікації під атмосферним тиском – для очищення олії переважно лише від механічних домішок (очищення методом кларифікації);
- кларифікації під вакуумом – для очищення олії від механічних домішок з одночасною її сушкою (очищення методом сушіння);
- пурифікації – для відокремлення олії переважно від води.

1. При роботі установки в режимі кларифікації під атмосферним тиском (очищення олії від механічних домішок) брудна олія через прохідний кран і фільтр грубої очистки, насосом засмоктується з ємності брудної олії та нагнітається в електронагрівач. Нагріте масло з електронагрівача трубопроводом надходить у барабан сепаратора. Очищене в барабані масло через камеру чистої олії маслозбірника зливається у вакуум - бак як у прохідну ємність (розрідження у вакуум - баку не створюється). З вакуум-бака чиста олія відкачується насосом і нагнітається в ємність чистої олії безпосередньо або через фільтр-прес, якщо необхідно додатково очистити олію від тих домішок, які за своїми властивостями не можуть бути відокремлені в барабані. механічні домішки, що відокремилися від масла, відкладаються у вигляді осаду на внутрішній циліндричній поверхні корпусу барабана сепаратора. Масло, що накопичується під час роботи, в чаші сепаратора по трубопроводу через вентиль скидається в піддон, звідки воно стікає в дренажний бак. З дренажного бака через вентиль олія надходить у лінію подачі олії установки

2. При роботі установки в режимі кларифікації під вакуумом (сушіння масла) відмінність робочого процесу від описаного вище полягає в тому, що в роботу включається вакуум-насос, що створює розрідження у вакуум-баку. При цьому розчинна вода, що знаходиться в маслі, під дією розрідження випаровується. Пари води відсмоктуються вакуум-насосом, а зневоднене масло, так само як і в попередньому випадку, відкачується з вакуум-бака насосом. Під сушінням масла слід розуміти процес видалення з нього під вакуумом тієї води, яка знаходиться у зв'язаному, розчиненому стані (зв'язана вода). Ця вода не може бути відділена у відцентровому полі, створеному сепаратором, на відміну від води, яка знаходиться у простій фізичній суміші з олією («вільна вода»).

3. При роботі установки в режимі пурифікації (відділення від «вільної води») відмінність робочого процесу від описаного вище полягає в тому, що в барабані, зібраному в цьому випадку на режим пурифікації, відбувається поділ двох рідких середовищ – води та олії. Вода через камеру відсепарованої води трубопроводом відводиться в спеціальний приймач або промислову каналізацію. Для забезпечення процесу пурифікації в барабані обов'язково створюється водяний затвор.

Найменування параметрів:

Потужність споживана, кВт.....	53.28
Норма для встановлення висота.....	1240 мм
Номінальна продуктивність при очищенні.....	2.4 м <sup>3</sup> /ч
Потужність.....	5.5 кВт
Ширина.....	1135 мм
Найбільший робочий тиск.....	4 атм
Частота обертання.....	1430 об/хв

Максимальний вміст механічних домішок у маслі після одного циклу очищення його методом кларифікації при вихідному вмісті механічних домішок до 0,080.005 масових %- від механічних домішок 4 класифікація.

Вміст вологи в маслі після одного циклу очищення методом пурифікації при вихідному вмісті води до 1% 0.05 масових %.

### 3.3. Конструкція електроочищувача.

Спосіб та пристрій для очищення діелектричних та електропровідних рідин шляхом впливу електростатичного поля, що містять корпус з розміщеними в ньому парними різнополюсними електродами, відрізняється тим, що для підвищення надійності та економічності електроди покриті ізоляцією та з'єднані з полюсами генератора імпульсів, а в нижній їх частині є канал, яким стікають іони і заряджені частинки, з'єднуючись внизу фільтра і віддаляючись, а очищена рідина проходить посередині між електродами і виходить окремим каналом.

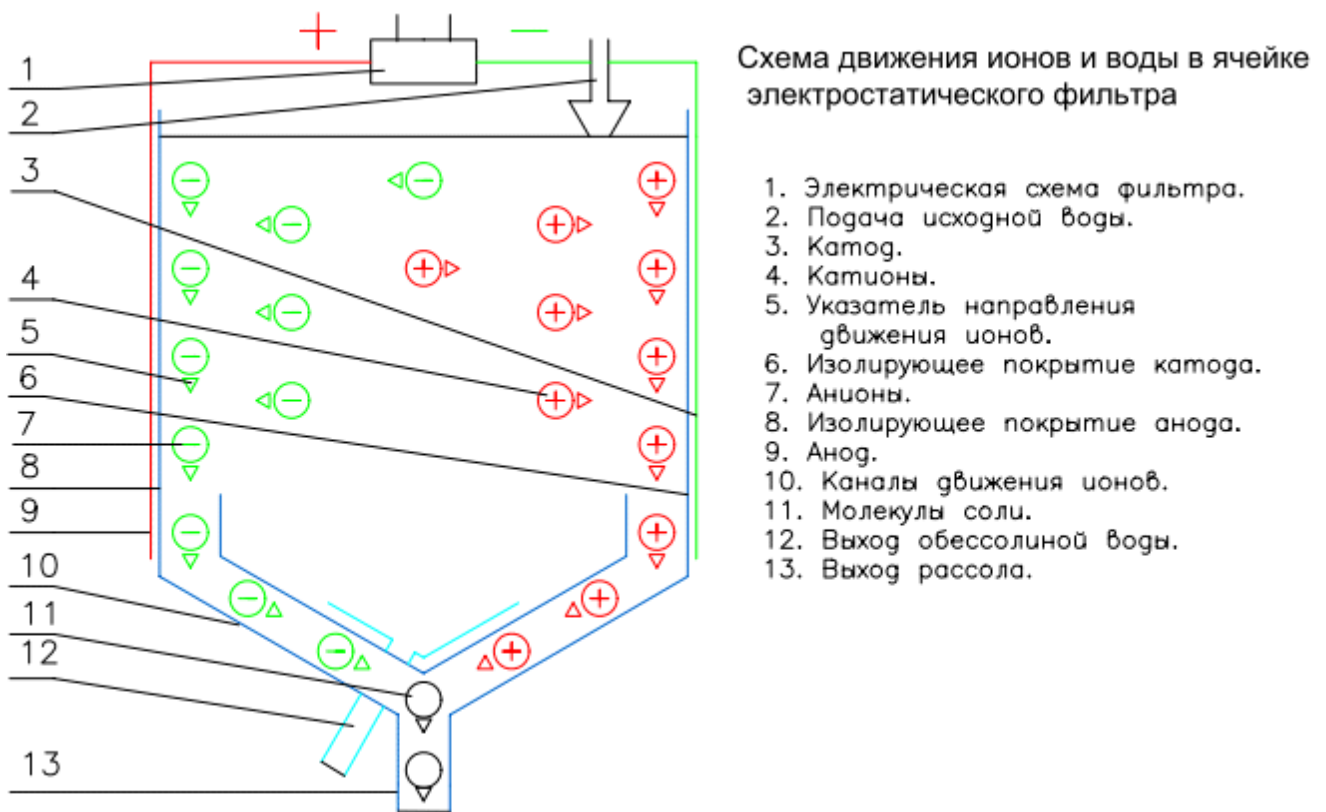
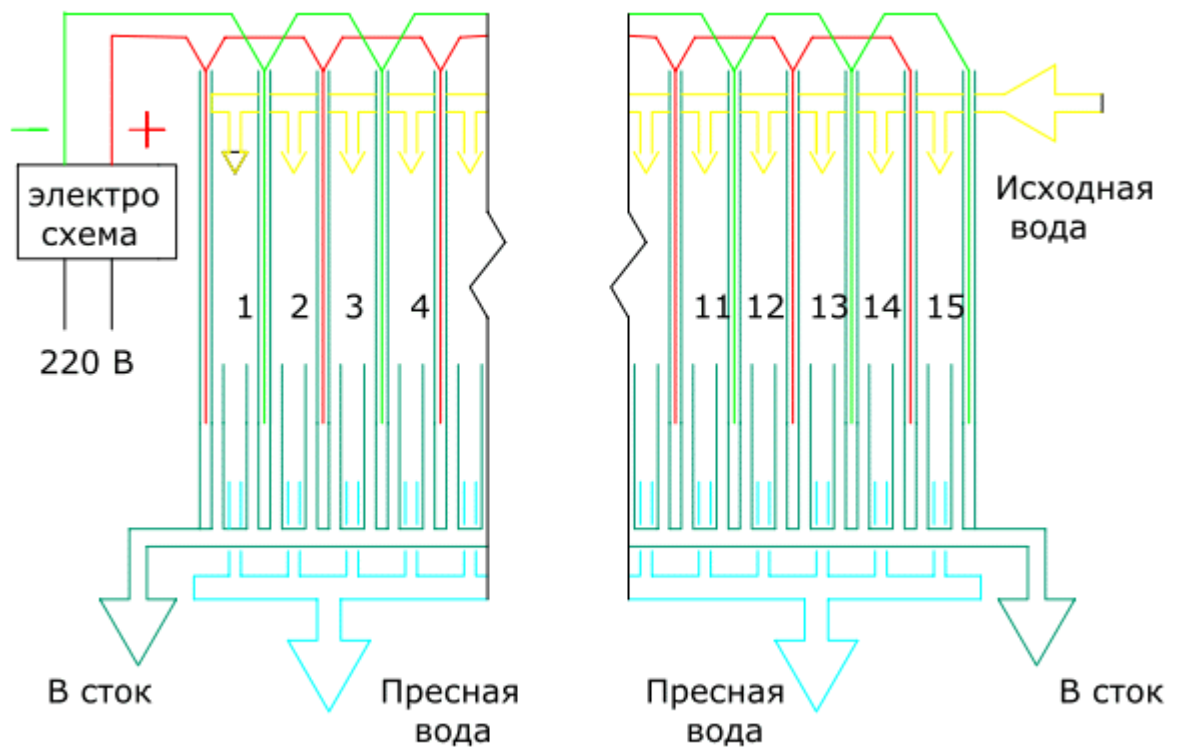


Рис. 3.3.1. Схема рухів іонів і води в чарунці електростатичного фільтра

Електрофільтр (рисунок 3.3.1) складається з корпусу, із встановленими в ньому на електроізолюючих перегородках електродами. Електроди виконані з нержавіючого металу, що застосовується у харчовій промисловості. Корпус



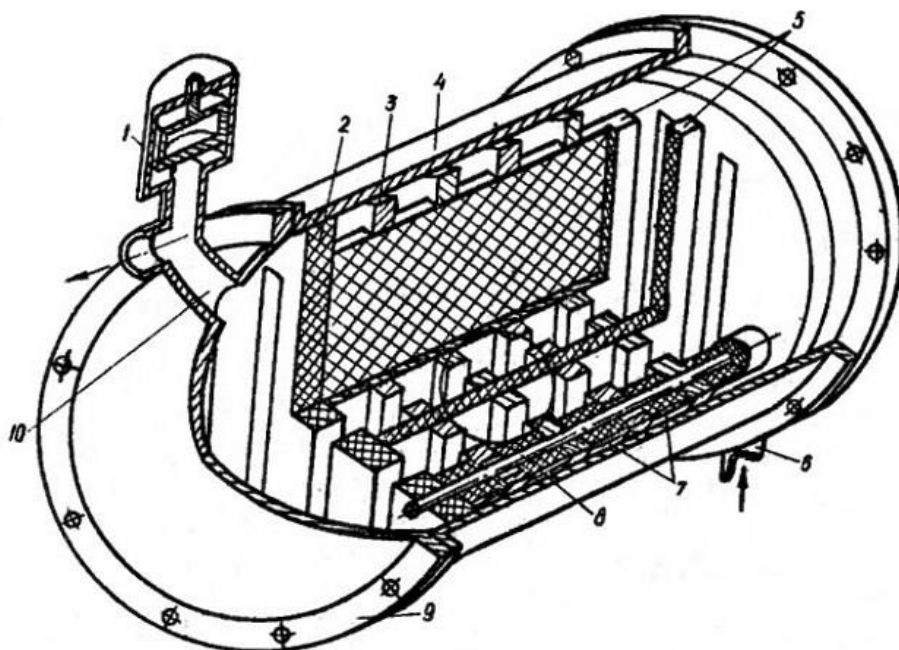
*Рис. 3.3.2. Схематичне зображення електростатичного фільтра*

забезпечений патрубками подачі та відведення олії. Установка включає регульоване джерело постійного струму.

На сьогодні в Україні та за кордоном розроблено значну кількість електроочисників нафтопродуктів від води та механічних домішок. Розроблені в НАУ для очищення авіаційних палив електроочисники складаються з корпусу з патрубками підведення та відведення нафтопродукту, набору осаджувальних ізолюваних електродів та системи електроживлення. При роботі електроочисників між сусідніми електродами створюється різниця потенціалів, під впливом якої частки забруднень витягуються з потоку нафтопродукту і осаджуються на електродах.

Для забезпечення нормальної роботи необхідно періодично проводити видалення з електроочисника забруднень, що накопичилися в осередках. Конструкція електроочисника дозволяє це зробити без демонтажу та розбирання самого агрегату. З цією метою зібрані в пакет осадильні електроди встановлюються в корпусі таким чином, щоб прорізи електродів займали

вертикальне положення. Поздовжня вісь корпусу електроочисника встановлюється під невеликим кутом (15 - 20 °С) до площини горизонту так, щоб штуцер зливу рідини з очищувача знаходився у крайньому нижньому, а штуцер приєднання повітряного клапана у крайньому верхньому положенні. Це дозволяє зливати рідину разом з брудом з внутрішньої порожнини корпусу повністю без залишку.



Конструкция регенерируемого электрического очистителя топлив (РЕОТ)  
 1 - поплавковый предохранительный клапан (ППК); 2 - ограничительная диафрагма; 3 - осадительные электроды; 4 - корпус очистителя; 5 - перегородки; 6 - патрубок входа жидкости; 7 - изоляционные прокладки; 8 - крышки; 9 - патрубок выхода очищенной жидкости; 10 - стяжные шпильки.

*Рис.3.3.3. Конструкція електроочищувача.*

Поплавковий повітряний клапан призначений для випуску повітря з внутрішньої порожнини електроочисника при його заповненні, стравлювання повітряних пробок при роботі електроочисника та відключення високої напруги за відсутності робочої рідини всередині електроочисника.

На внутрішній поверхні ротора є кільцеві пази та прямокутні виступи, що створюють неоднорідність електричного поля. У днищі ротора змонтовані насадки з форсунками для виходу очищеної олії; вони є реактивним приводом для відцентрового електроочисника.

Пристрої для мокрого очищення неприйнятні, оскільки повітря в процесі такого очищення зволожується, а це може спричинити попадання вологи в олію. Електроочисники мають досить складний пристрій і вимагають значних витрат електроенергії, тому їхнє застосування на нафтобазах економічно недоцільне.

Конструкція електроочисників досить складна, які експлуатація вимагає досить високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Усе це значною мірою стримує широке використання електроочищення рідин від механічних забруднень.

Принцип дії електростатичного очисника заснований на тому, що частинки забруднення незалежно від їх природи (залізо, кольорові метали, кварц, вугілля та ін.) під дією тертя рідину отримують позитивний або негативний електричний заряд і притягуються до відповідних електродів, поміщених в рідину, що очищається. Рухи забруднюючої частки в електростатичному полі наведено на рисунку 3.3.4.

Визначимо напруженість, В/м, електростатичного поля проектованої очисної установки, за формулою:

$$E = \frac{U}{l} \quad (3.3.1)$$

де  $U = 10000$  В – напруга електродів від базової очисної установки;

$l = 0,007$  м – відстань між електродами, рисунок 3.3.4.

$$E = \frac{10000}{0,007} = 1,4 \cdot \frac{10^6 \text{В}}{\text{м}} \quad (3.3.2)$$

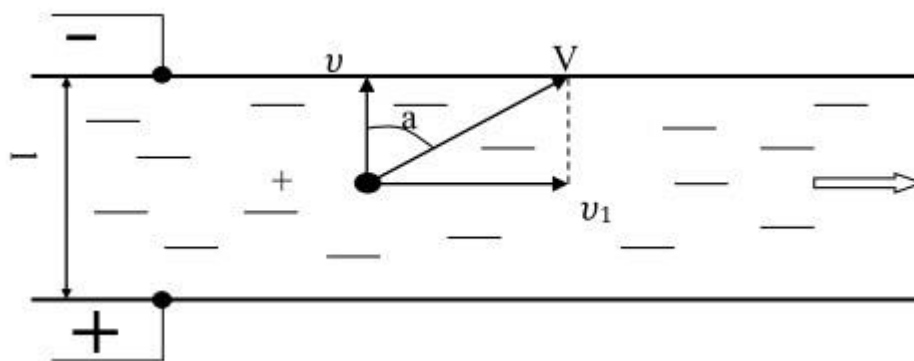


Рис.3.3.4. Рухи частинки в електростатичному фільтрі.



Визначимо заряд частинки, Кл, забруднення розміром 5 мкм за формулою:

$$q = 4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot (3E \cdot r^2) \quad (3.3.3)$$

де  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – діелектрична постійна,

$r = 0,5 \cdot 10^{-5}$  м – радіус забруднення частки;

$$q = 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot (3 \cdot 1,4 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot 10^{-5})^2 = 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл,}$$

Визначимо швидкість частки, м/с, створюваним електростатичним полем

формулою:

$$U = \frac{q \cdot E}{6\pi \cdot \eta \cdot v_1 \cdot r} \quad (3.3.4)$$

де  $\eta = 11000$  Па · с – динамічна в'язкість масла при 80°C,

$v_1 = 0,3$  м/с – швидкість олії в електростатичному фільтрі;

$$v = \frac{2,3 \cdot 10^{-9} \cdot 1,4 \cdot 10^6}{6 \cdot 3,14 \cdot 11000 \cdot 0,3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-5}} \approx 0,01 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.3.5)$$

Визначимо складову швидкість,  $V$ , м/с,

$$V = \sqrt{v^2 + v_1^2} \quad (3.3.6)$$

$$V = \sqrt{0,01^2 + 0,3^2} = 0,3 \text{ м/с,}$$

Кут напрямку складової швидкості,  $a$ , °,

$$\sin a = \frac{U}{V} \quad (3.3.7)$$

$$\sin a = \frac{0,01}{0,3} \approx 0,03,$$

$$a \approx 12^\circ.$$

Установка може бути впроваджена на ділянці ПММ, а також у зону технічного обслуговування та ремонту техніки, де в міру накопичення обсягу олії можна проводити його очищення.

### **3.4. Підбір високовольтного блоку живлення та випрямляча. Розробка принципової електричної схеми електроочисника.**

Сучасні методи перетворення:

- комутуючі при нульовому струмі та паралельні резонансні перетворювачі (розімкнутий режим);
- резонансні перетворювачі, що комутують при нульовій напрузі (замкнений режим);
- програмоване перемикання та фазокеровані резонансні перетворювачі;
- квазірезонансні зворотногоходові та двотактні перетворювачі.

У порівнянні з джерелами живлення, що працюють на частоті мережі змінного струму, високочастотні джерела мають наступні переваги:

- менші габарити та маса;
- швидший час реакції на керуючі дії;
- знижене накопичення енергії;
- підвищений ККД енергоперетворення.

Технічні характеристики, пропоновані виробником джерел живлення, зазвичай містять інформацію про вхідні і вихідні напруги, стабілізацію виходу, пульсації і нестабільність виходу. Найчастіше для користувача була б корисна докладніша інформація. Нижче характеристики джерел живлення будуть розглянуті більш детально, порівняно з інформацією, що міститься у звичайних довідкових листках технічних характеристик. Далі наведено визначення та опис вимог до технічних характеристик, з якими стикаються споживачі високовольтних джерел живлення.

Технічні характеристики викладені в наведеному нижче порядку:

- вхідна напруга;
- вихідна напруга;
- вихідний струм;
- пульсації;
- нестабільність;
- накопичена енергія;

- імпульсний режим;
- стабілізація по мережі;
- стабілізація по навантаженню;
- динамічна стабілізація;
- ККД енергоперетворення.

### **Вхідна напруга**

Вхідне живлення для конкретної моделі обумовлюється рядом факторів, у тому числі рівнем вихідної потужності джерела живлення та видом живлення, яке доступне в конкретних умовах застосування. У загальному випадку малопотужні високовольтні джерела живлення з рівнем виходу в діапазоні від 1 до 60 Вт використовують вхідну напругу постійного струму від 24 до 28, а потужніші джерела живляться від мережі змінного струму.

### **Живлення постійним струмом.**

У системах багатьох виробників устаткування високовольтні джерела живлення є лише вузлами цих систем, тобто у складі систем вже є джерела живлення постійного струму (наприклад, на 24 В, 390 В постійного струму). Ці існуючі джерела постійного струму цілком можуть використовуватися як вхідні джерела потужності для високовольтного джерела живлення. Такий варіант зручний та економічний для модульних високовольтних джерел живлення з низьким рівнем вихідної потужності.

### **Живлення змінним струмом.**

Більшість модулів з високим рівнем вихідної потужності (понад 100 Вт) та модулів, що монтуються у стандартну стійку, призначені для роботи від мережі змінного струму (див. рис. 1). Ці джерела живлення пристосовані працювати від будь-яких мереж електроживлення змінного струму, що є на місці їх застосування в умовах користувачів. До речі, за своїми характеристиками такі мережі у різних країнах досить суттєво відрізняються одна від одної. Наприклад, у США та Канаді стандартна однофазна напруга мережі становить 115/230 В змінного струму з частотою 60 Гц, а в континентальній Європі та в багатьох інших країнах стандартна напруга становить 200 В змінного струму з частотою

50 Гц. У Великобританії стандартна напруга становить 240 В змінного струму з частотою 50 Гц, тоді як у Японії напруга зазвичай дорівнює 100 В з частотою 50 або 60 Гц.

Більшість джерел живлення має у своєму складі трансформатори з відгалуженнями від обмоток для перекриття згаданих діапазонів напруги, тоді як ряд нових джерел перекриває діапазони від 90 до 130 і від 180 до 260 змінного струму без використання відгалужень. У майбутньому країни ЄЕС мають намір стандартизувати свої електромережі на 230 В змінного струму та частоту 50 Гц.

Цілком можливо, що для більшості високовольтних джерел живлення, що пропонуються на ринку, будуть нормовані коректори коефіцієнта потужності та єдині вимоги до параметрів вхідної напруги. Однак це стосуватиметься лише джерел живлення з рівнем вихідної потужності менше 3 кВт. При випуску джерел живлення з вищим рівнем потужності необхідно керуватися технічними умовами замовника.

Розрахунок ведемо для однієї пари пластин. Для прикладу ставимо такі дані.

Площа пластин -  $S = 1$  м/кв

Розрахунок ведемо для однієї пари пластин. Для прикладу ставимо такі дані.

Площа пластин –  $d = 3$  mm = 0,003 m;

Для спрощення розрахунок виробляємо для найпоширенішої солі NaCl, з молярною масою  $M=58,5$  г/моль і ефективною валентністю  $Z=1$ .

При електролізі, в електролітичному осередку на електродах виділяється кількість речовини, що в грамах визначається законом Фарадея

$$m = \left(\frac{q_{\text{пл}}}{F}\right) \left(\frac{M}{Z}\right) \quad (3.4.1)$$

де

$F=96500$  кл / моль – постійна Фарадея;

$q_{\text{пл}}$  – заряд на пластинах.

Заряд пластини для плоского конденсатора визначається виразом

$$q_{\text{пл}} = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{b} \cdot U \quad (3.4.2)$$

де

$\varepsilon = 81$  - діелектрична проникність води;

$\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  Кл /Вм – діелектрична проникність вакууму;

$U = 100000$  В – пікова напруга на пластинах, що підводиться від джерела високої напруги.

Підставивши ці величини у формулу Фарадея, отримаємо:

$$m = \frac{81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 100000 \cdot 58,5}{0,3 \cdot 96500 \cdot 1} = 14,5 \text{ мг}$$

Ця речовина не буде виділятися на електродах, а осідатиме на ізолюючому покритті і змивається рушійною водою.

Якщо напруга, що підводиться, буде пульсувати з частотою як у промисловій мережі:

$$f = 50 \text{ Гц},$$

а пластин буде  $n = 30$ , то у фільтрі буде видалятися за час  $t = 1$  годину сіль у кількості:

$$N = m f n t = 14,5 \times 10 \times 50 \times 30 \times 3600 = 78300 \text{ мг / год} \quad (3.4.3)$$

Середній вміст солей у природних водах становить близько  $q = 110$  мг/літр.

Отже, продуктивність фільтра розміром 1 метр кубічний дорівнюватиме:

$$G = N / q = 78300 / 110 = 700 \text{ л / год.} \quad (3.4.4)$$

Осередок фільтра є електролітичним конденсатором, ємність якого визначається з виразу:

$$C_{\text{я}} = \varepsilon / U = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{d} = 81 \times 8,85 \times 10^{-12} \cdot 1 / 0,003 = 24 \times 10^{-9} \text{ Ф} = 240 \text{ нФ} \quad (3.4.5)$$

З метою зменшення енерговитрат, схема підключення фільтра виконана як коливальний контур. Така схема зображена на рис.1.

Половина пластин фільтра у кількості 15 шт. утворює ємність  $C_1$ , а друга частина пластин, підключених паралельно, є ємністю  $C_2$ . Послідовно  $C_1$  включена баластна ємність  $C_3$  та індуктивність  $L$  у вигляді дроселя низької частоти. Послідовно  $C_2$  включена ємність  $C_4$ . Коливальні контури працюють у протифазі.

Визначимо значення ємностей:

$$C_1 = C_2 = C_{\text{Я}} \times 15 = 240 \times 15 = 3600 \text{ нФ} = 3,6 \text{ мкФ} \quad (3.4.6)$$

Обираємо  $C_3 = C_4 = C_1 = 3,6 \text{ мкФ}$

Тоді загальна ємність у кожному контурі дорівнюватиме:

$$C = (C_3 + C_1) / C_1 \times C_3 = (3,6 + 3,6) / 3,6 \times 3,6 = 0,56 \text{ мкФ} \quad (3.4.7)$$

Визначимо величину індуктивності  $L$  з умови настання електричного резонансу коливального контуру на частоті джерела живлення. У разі це промислова частота  $f = 50 \text{ Гц}$ . З формули, яка визначається частоту власних гармонічних коливань контуру, знайдемо індуктивність:

$$L = 1/4\pi^2 f f C \quad (3.4.8)$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$L = 1000000 / 4 \times 3,14 \times 3,14 \times 50 \times 50 \times 0,56 = 18 \text{ Гн.}$$

Фактично дросель працюватиме в режимі трансформатора. Розрахунок його параметрів складніший, і залежить від властивостей середовища. Налаштувати контури на резонанс можна зміною ємності конденсаторів  $C_3$  та  $C_4$ .

Максимально можлива частота коливань у контурах обмежуватиметься часом переміщення іонів між пластинами фільтра. Абсолютні швидкості іонів (см/сек) у воді при різниці потенціалів  $1 \text{ в/см}$  рівні:  $U(\text{Na}^+) = 4,6 \times 0,0001 \text{ см / сек} \times \text{в / см}$ ;

$U(Cl^-) = 6,85 \times 0,0001 \text{ см / сек} \times v / \text{ см}$ . Для іона, що має меншу швидкість переміщення, час пересування від однієї пластини до іншої дорівнює:

$$T = d / V \times U(Na^+) = 0,3 / 100000 \times 4,6 \times 0,0001 = 6,5 \times 0,001 / \text{сек} \quad (3.4.9)$$

Частота живильного контуру генератора може бути не більше:

$$f_m = 1 / T = 1 / 6,5 \times 0,001 = 154 \text{ Гц} \quad (3.4.10)$$

Додана ззовні е. д. с. у осередках фільтра викликає електрофорез.

Колоїдні частинки менш рухливі за іони. Тому їх видалення частоту треба знижувати. І це знижує продуктивність фільтра.

Ширину пластин позначимо літерою  $l$ . Тоді, прохідний переріз фільтра матиме вираз:

$$V = d l n = 0,003 \times 1 \times 30 = 0,09 \text{ м. кв} = 900 \text{ см}^2 \quad (3.4.11)$$

Продуктивність фільтра:

$$G = 700 \text{ л/ час} = 11670 \text{ см. куб/хв} \quad (3.4.12)$$

Швидкість течії води у фільтрі дорівнюватиме:

$$a = G / V = 11670 / 900 = 13 \text{ см/хв.} \quad (3.4.13)$$

Реактивна потужність фільтра визначається за формулою

$$P_c = 2 \pi f C V V = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,36 \times 0,000001 \times 100000 \times 100000 = 1130000 \text{ вар} = 1130 \text{ квар.} \quad (3.4.14)$$

Ця величина визначає "запащувану енергію" конденсатора. Потужність, що споживається з мережі, буде значно меншою. Для переміщення іонів у першому контурі вона визначається з виразу:

$$P_1 = I I R \quad (3.4.15)$$

Для конденсатора виконується така рівність

$$Q = I t = I / f = V C l , \quad (3.4.16)$$

звідки знаходимо

$$I = V C l f = 100000 \times 3,6 \times 0,000001 \times 50 = 18 \text{ А} \quad (3.4.17)$$

Питома електропровідність розчину NaCl у діапазоні малих концентрацій має залежність

$$\chi = 191q = 191 \times 110 = 21010 \text{ мкСм / м} = 0,021 \text{ См / м}. \quad (3.4.18)$$

Електричний опір водного розчину між пластинами фільтра буде рівним

$$R = d / \chi S l = 0,003 / 0,021 \times 1 \times 15 = 0,01 \text{ Ом}. \quad (3.4.19)$$

Потужність, що витрачається на переміщення іонів в обох контурах, дорівнюватиме

$$P = 2P_1 = 2 I I R = 2 \times 18 \times 18 \times 0,01 = 6,5 \text{ Вт} \quad (3.4.20)$$

Сила струму в обмотках трансформатора буде приблизно такою ж, як і струм, що протікає через водний розчин. Активний опір обмоток трансформатора залежить від перерізу обмотувального дроту та втрат у сердечнику. Орієнтовно прийняти  $R_T = 2 \text{ Ом}$ . Тоді потужність, що втрачається в трансформаторі, буде рівна

$$P_T = 2 I I R_T = 2 \times 18 \times 18 \times 2 = 1296 \text{ Вт} = 1,3 \text{ кВт} \quad (3.4.21)$$

Потужність джерела високої напруги має бути

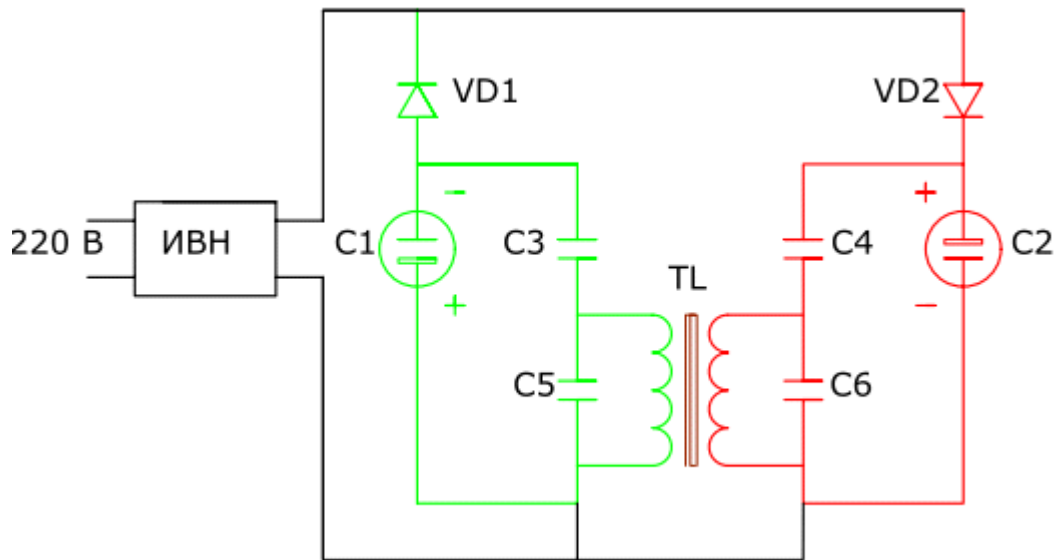
$$P_{\text{и}} = P + P_T = 6,5 + 1296 = 1300 \text{ Вт} = 1,3 \text{ кВт} \quad (3.4.22)$$

Витрата електроенергії на опріснення однієї тонни води становитиме

$$W = 1000 P_{\text{и}} / G = 1000 \times 1,3 / 700 = 1,9 \text{ кВт час}. \quad (3.4.23)$$

У сучасних електродіалізних установках витрата електроенергії становить 7-13 кВт год на одну тонну води, що опрісняється. Це в 5 разів більше, ніж у запропонованому фільтрі.





*Рис.3.4.1. Принципова електрична схема електрочисника*

Схема керування електрофільтром представлена рисунку 3.4.2. Робота схеми управління, представленої рисунку 3.4.2, здійснюється так. При увімкненому автоматичному вимикачі QF1 та замкненому контакті кінцевого вимикача SQ1, після натискання кнопки SB2, напруга подається на котушку магнітного пускача KM1. Замикається контакт магнітного пускача KM1, напруга подається на регулятор напруги TV1. З регулятора напруги TV1 напруга подається на первинну обмотку трансформатора напруги TV2, що підвищує, через амперметр PA1. Вольтметр PV1 показує напругу мережі. З вторинної обмотки трансформатора TV2 випрямлену напругу через міліамперметр PA2 подається на вольтметр PV2 та електроди фільтра. Блокування виконується таким чином: при відкритій кришці бака контакт кінцевого вимикача буде розімкнений, і напруга не буде подано на котушку магнітного пускача KM 1.

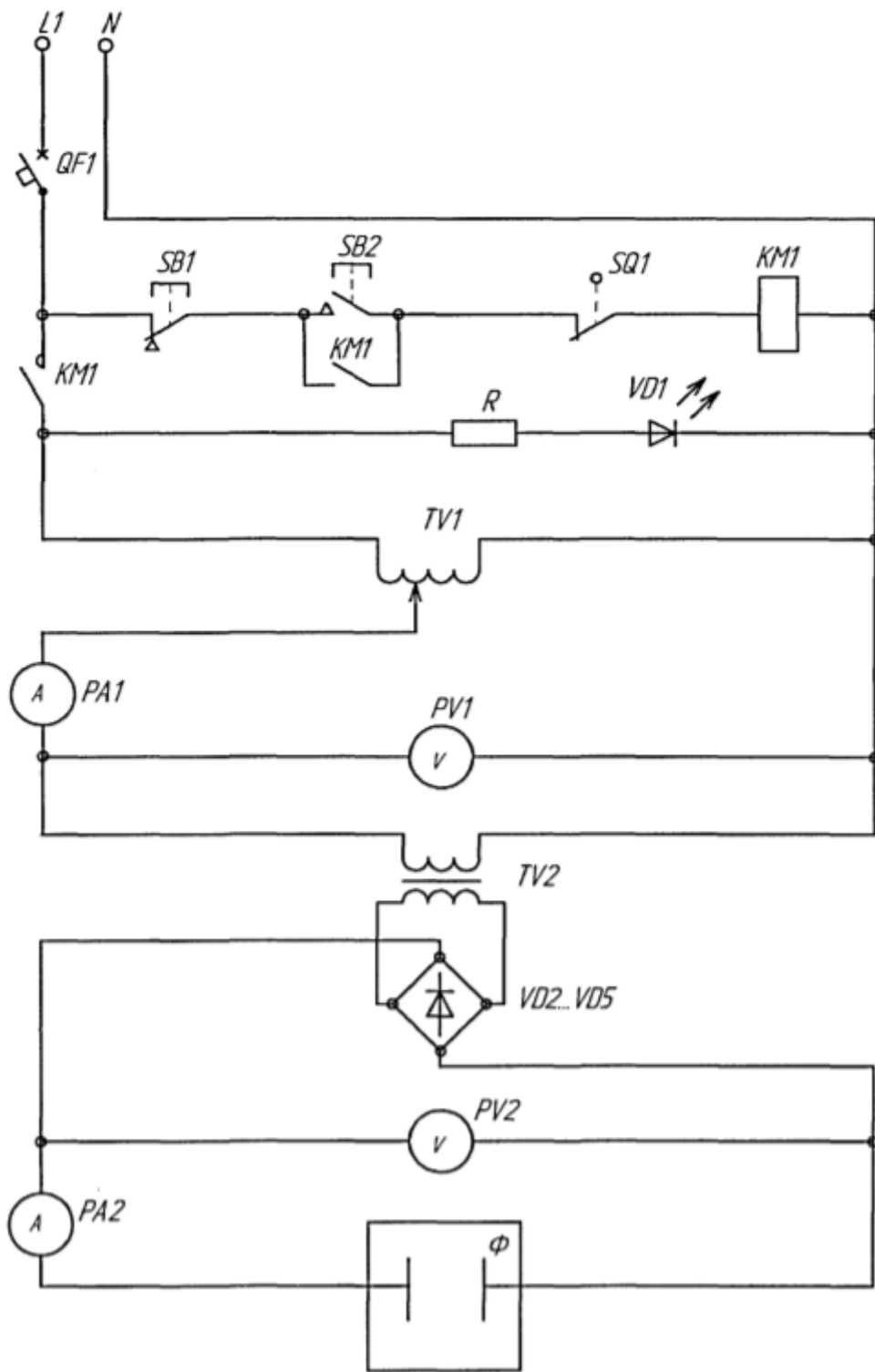


Рисунок 3.4.2. Схема електрична принципіальна управління електрофільтром.

Вибираємо джерело живлення Д1000-0,15-01Ц.

Джерело призначене для живлення постійним струмом різних радіотехнічних пристроїв, а також для використання як лабораторні джерела живлення при розробці, налаштуванні та ремонті радіоелектронної апаратури. Джерело має плавну установку вихідної напруги та струму, режим стабілізації напруги та струму, а також автоматичний перехід у режим стабілізації струму. Відмінні риси виробу:

- висока стабільність вихідної напруги та струму;
- можливість цілодобової роботи;
- висока точність установки вихідної напруги та струму;
- захист від короткого замикання та перевантаження;
- висока надійність та пожежна безпека;
- невеликі габарити та маса.

Технічні характеристики та особливості виробу:

- напруга живлення ..... від 170 до 250;
- частота мережі, Гц ..... від 50 до 60;
- вихідна напруга, В ..... від 0 до 1000;
- максимальний вихідний струм, А ..... від 0 до 0,15;
- дискретність індикації напруги, ..... 1;
- дискретність індикації струму, мА ..... 1;
- нестабільність напруги у режимі стабілізації напруги, мВ, .....  $\geq 100$ ;
- нестабільність струму у режимі стабілізації струму, %, .....  $\geq 0,1$ ;
- пульсації вихідної напруги у режимі стабілізації напруги:
  - ефективного значення, %, не більше ..... 0,05;
  - плітудного значення, %, трохи більше ..... 0,1;
- ККД, %, не менше ..... 85;
- габаритні розміри, мм ..... 300x275x105;
- маса, кг, не більше ..... 2,2;

### 3.5. Опис установки електроочисника та особливостей його технічної експлуатації.

Очисник складається з блоку попереднього коалесцентного очищення, блоку сорбційної доосушки, блоку електростатичного очищення, пульта управління, системи трубопроводів із запірною арматурою, електронасосу. Все обладнання розміщено у герметичному піддоні та змонтоване на пересувній рамі. Для роботи в автоматичному режимі установка має датчики рівня, датчики утримання води в маслі, електроприводи запірної арматури.

Маслоочисники повинні видаляти будь-які шкідливі забруднення гідравлічних систем, а не вибирати їх ні за видами, ні за розмірами. Як електростатичні очисники масла використовують електричні характеристики частинок і сила поля, вони можуть видаляти будь-які види частинок, як заряджених, так і нейтральних.

Електрофорез, який працює в однорідному електричному полі, корисний для видалення заряджених частинок, а діелектрофорез, який працює в неоднорідному електричному полі, корисний для видалення нейтральних частинок. Щоб відповідати вимогам, що висуваються до електростатичного очищувача масла з видалення будь-яких та всіх видів забруднень, необхідно відтворити явища як електрофорезу, так і діелектрофорезу в камері очищення. Схематична конфігурація електродів та діелектричного середовища показана на рисунку 3.5.1.

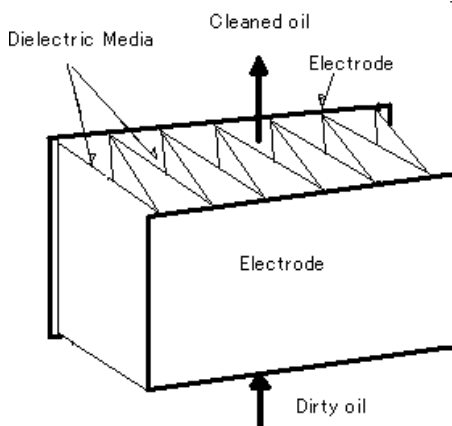


Рис.3.5.1. Схематична конфігурація електродів та діелектричного середовища

Паралельні електроди утворюють однорідне електричне поле, а гофроване діелектричне середовище деформує електричне поле на гострих краях.

Завдяки такій конфігурації електростатичні очищувачі олії можуть видаляти з олії забруднюючі речовини будь-яких видів та розмірів, якщо вони нерозчинні в олії.

Важливо переконатись, що теорія може працювати з реальними оліями. 200 літрів гідравлічного масла протизносного типу з присадками на основі цинку було взято з ливарної машини.

Олія використовувалася 3 роки. Машина для лиття під тиском мала вбудовані фільтри, але мала перепускного фільтра. Жодного спеціального контролю забруднення на машині не проводилося. 200-літрову олію очищали на випробувальному стенді електростатичного очисника з насосом продуктивністю 720 л/год. Рівень забруднення вимірювався автоматичним підрахунком частинок. Інші результати показані на рисунку 3.5.2.

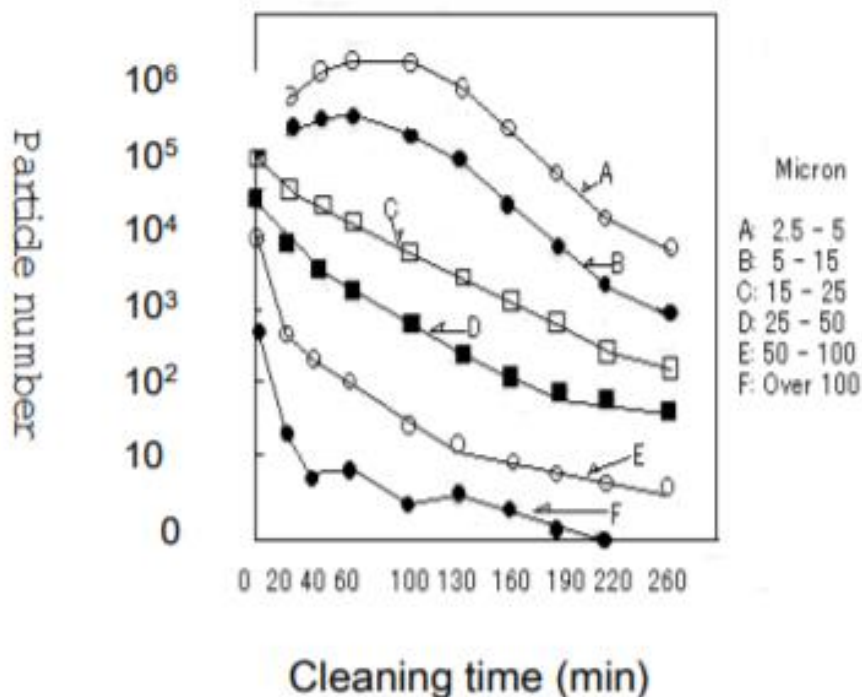


Рис.3.5.2. Зміна кількості частинок під час очищення електростатичним маслоочисником.

## ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА МАСТИЛО

З рисунка видно, кількість часток розміром менше 15 мікрон збільшується на ранній стадії очищення мастила. Чим менший розмір частинок, тим вища швидкість збільшення. Коли мастило проходить через матеріал, що фільтрує, мастило електризується. Оскільки мастило є діелектриком, в мастилі накопичуватиметься заряд, хоча в мастилі міститься невелика кількість присадок для релаксації заряду. Оскільки температура іскрових розрядів подекуди перевищує десять тисяч градусів Цельсія, ніякі присадки не можуть захистити мастило. Тому дуже важливо переконатися, що електростатична очистка мастила не викликає пошкодження мастила.

На рисунку також видно, що кількість частинок більше 25 мкм зменшується в процесі очищення мастила і що більша розмірна група частинок, тим гостріший кут відмінювання. Це одна з найцікавіших особливостей електростатичного очищення олії. Як показує рівняння (1), товщина подвійних електричних шарів на частинках на межі розділу з маслом дуже велика і ускладнює агломерацію частинок мастила без електричного поля. Однак частинки легко агломеруються в електричному полі, оскільки електрофорез змушує заряджені частинки рухатися для зустрічі з зарядженими протилежно частинками, а діелектрофорез змушує нейтральні частинки притягуватися один до одного під дією градієнтної сили. Той факт, що кількість дрібних частинок збільшується на ранній стадії очищення, вказує на те, що існує так багато дрібних частинок, які неможливо підрахувати за кількістю частинок, і що ці дрібні частинки агломеруються під впливом електричного заряду, як показано на рисунку 3.5.3. Вони нейтральні або електрично заряджені. Причину легкого видалення великих частинок при електростатичному очищенні масла можна пояснити за допомогою рисунка 3.5.2 та рівняння (13). Завдяки цим особливостям електростатичні очищувачі масла можуть видаляти навіть субмікронні частинки, які не можуть бути видалені механічними маслоочисниками, оскільки вони нерозчинні в маслі.

## ЗАПРАВКА МАСТИЛА

Коли мастило попадає в однорідне електричне поле, створюване парою паралельних електродів, електрони викидаються з негативного електрода. Оскільки мастило є діелектриком, вибиті електрони не перейдуть до іншого електрода і залишаться в мастилі, якщо відстань між двома електродами не надто мала. Потім мастило електризується, як показано на рисунку 3.5.3. Це може призвести до пошкодження мастила, коли електричний заряд накопичується та розряджається з іскрами. Для використання електростатичної технології очищення мастила важливо вирішити цю проблему.

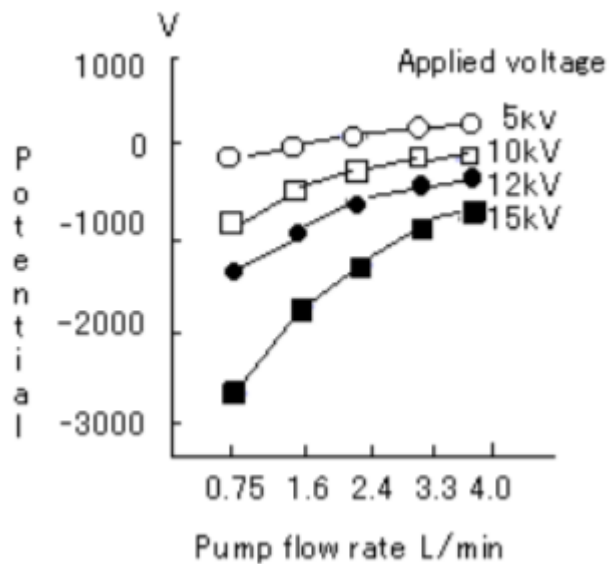


Рис. 3.5.3. Електрифікація мастила в електроенергетиці.

Спосіб електроочищення діелектричних рідин полягає в очищенні забруднень багатоступінчастим методом. Очищення діелектричних рідин здійснюють у два ступені: електросепаруванням - на першому та електроочищенням - на другому. На першому ступені очищення, всередині електросепаратора, створюють неоднорідне електричне поле з напруженістю, яка збільшується від периферії до центральної осі електросепаратора, куди подають очищувану рідину, що забезпечує утримання механічних забруднень з об'ємів рідини, перетіганих на периферію електросепаратора, в обсязі чим здійснюється очищення рідини, що спрямовується на периферію, і концентрування забруднень обсягом рідини в

області центральної осі. На другому ступені очистки, в електроочиснику, виробляють вилучення механічних забруднень з рідини, в якій відбулося концентрування цих забруднень в електросепараторі, шляхом створення електростатичного поля між електродами і осадженням забруднень на цих електродах, причому сусідні електроди мають різний знак потенціалу.

Пропонується спосіб реалізації в пристрої, який включає в себе електросепаратор і електроочисник, з'єднані один з одним послідовно, причому електроди електросепаратора встановлюють з чергуванням знака потенціалу і з міжелектродним зазором, що зменшується від периферії до центральної осі електросепаратора з можливістю утворення неоднорідного електростатичного поля у міру зменшення міжелектродного зазору від периферії до центральної осі електросепаратора, при цьому електросепаратор на периферії забезпечений діелектричним колектором збору очищеної від забруднень рідини з отворами і патрубком відведення цієї рідини, і є другий патрубок, по якому концентрована загр, в якому електроди приєднують до високої напруги постійного струму, з чергуванням знака потенціалу, для створення електростатичного поля, що забезпечує осадження механі домішок на поверхні електродів.

Новими ознаками, що мають суттєві відмінності за способом, є:

1. Використання неоднорідного електричного поля в електросепараторі для отримання очищеної від механічних домішок рідини в ньому, що становить частину обсягу рідини, що очищається.

2. Виконання концентрування механічних забруднень в обсязі неочищеної рідини, що залишився, на першому ступені очищення як підготовчу операцію, і повне очищення цього обсягу рідини від цих забруднень - на другому ступені очищення.

Істотними відмітними ознаками пристрою є виконання його у вигляді двох окремих блоків: електросепаратора і електроочисника, з'єднаних послідовно трубопроводом, причому електроди електросепаратора встановлюють так, щоб утворювалося неоднорідне електростатичне поле.



Використання нових ознак, разом з відомими, і нових зв'язків між ними забезпечують досягнення технічного результату винаходу, а саме: підвищення ефективності очищення діелектричних рідин від забруднень.

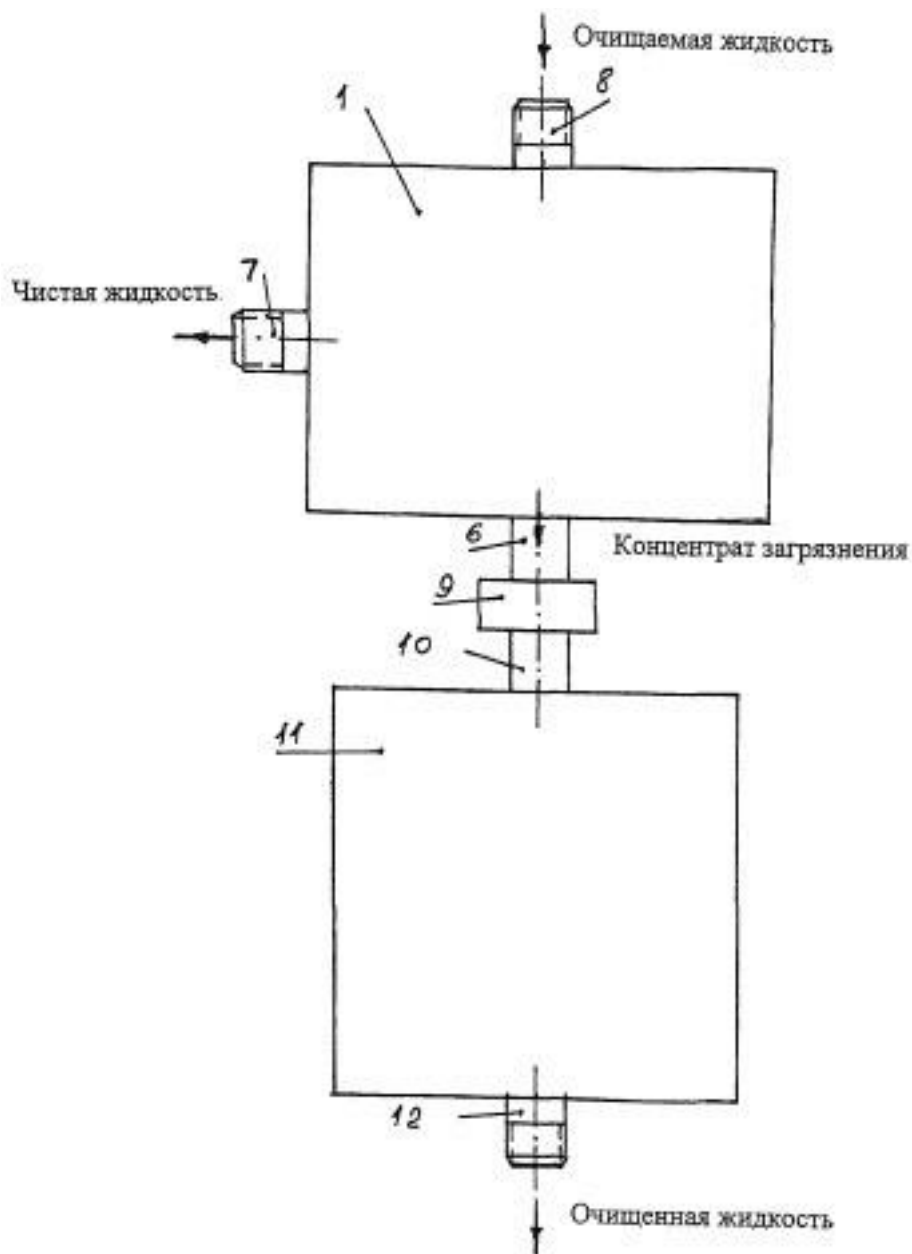


Рис.3.5.4. Пристрій для електроочищення діелектричних рідин

На рис.3.5.4 представлено схематично пристрій для електроочищення діелектричних рідин, на рис.3.5.5 - електроочисник, на рис.3.5.6 - електросепаратор. У запропонованому способі використовується попереднє

сепарування забруднень на першому ступені очищення. На рис.3.5.4 показані: перший ступінь очищення у вигляді електросепаратора 1, який має вхідний штуцер 8 для рідини, що очищається, і два вихідних штуцера: штуцер 7 для відведення чистої рідини і штуцер 6 для відведення концентрату забруднень.

Другий ступінь очищення виконана у вигляді електроочисника 11, що має вхідний штуцер 10 та вихідний штуцер 12.

Перший і другий ступені очищення з'єднані один з одним послідовно патрубками на виході електросепаратора і вході електроочисника, з'єднаних відповідно зі штуцерами 6 і 10 і між собою муфтою 9.

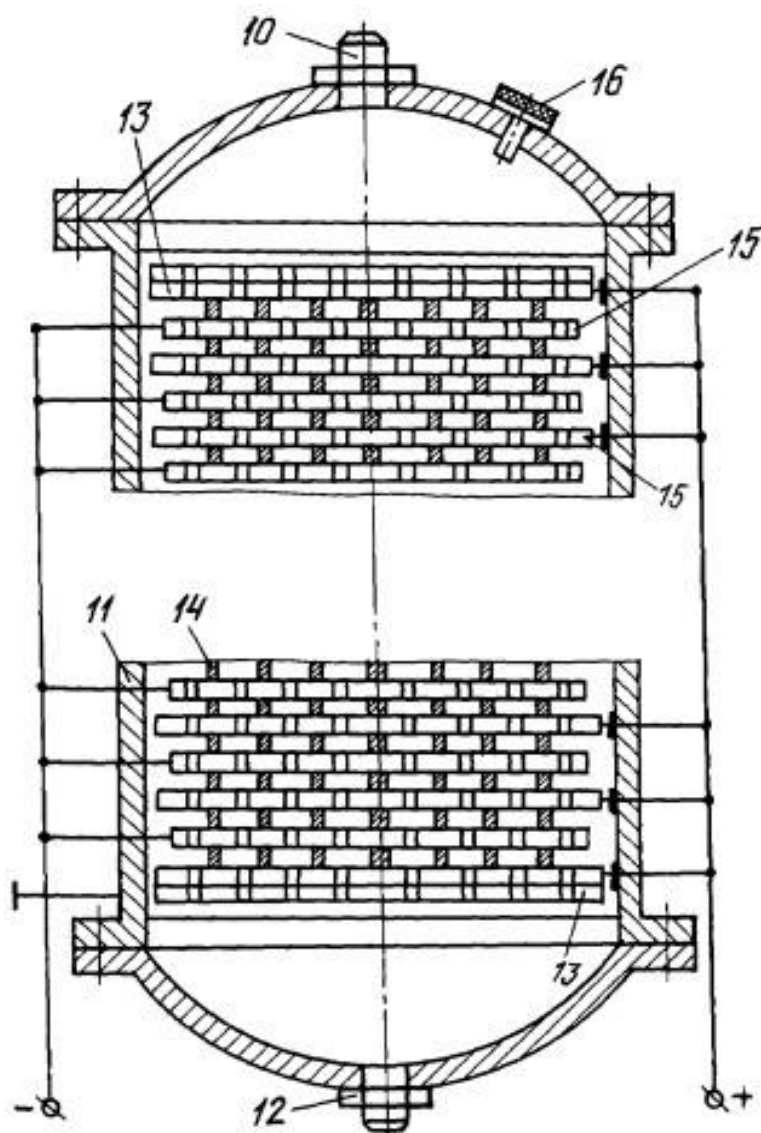


Рис.3.5.5. Електроочисник

На рис.3.5.5 представлений електроочисник у поздовжньому осьовому розрізі [1]. Він складається з корпусу 11, обмежувальних пластин 13, пакета осаджувальних електродів 15, діелектричних перегородок 14, патрубків підведення 10 і відбору рідини 12. Осаджувальні електроди 15 виконані у вигляді круглих металевих пластин з прорізами, а між осадительними електродами разом з електродами 15, утворюють осередки-накопичувачі забруднень. До осаджувальних електродів 15 підведено постійну високу електричну напругу з чергуванням знака на сусідніх електродах.

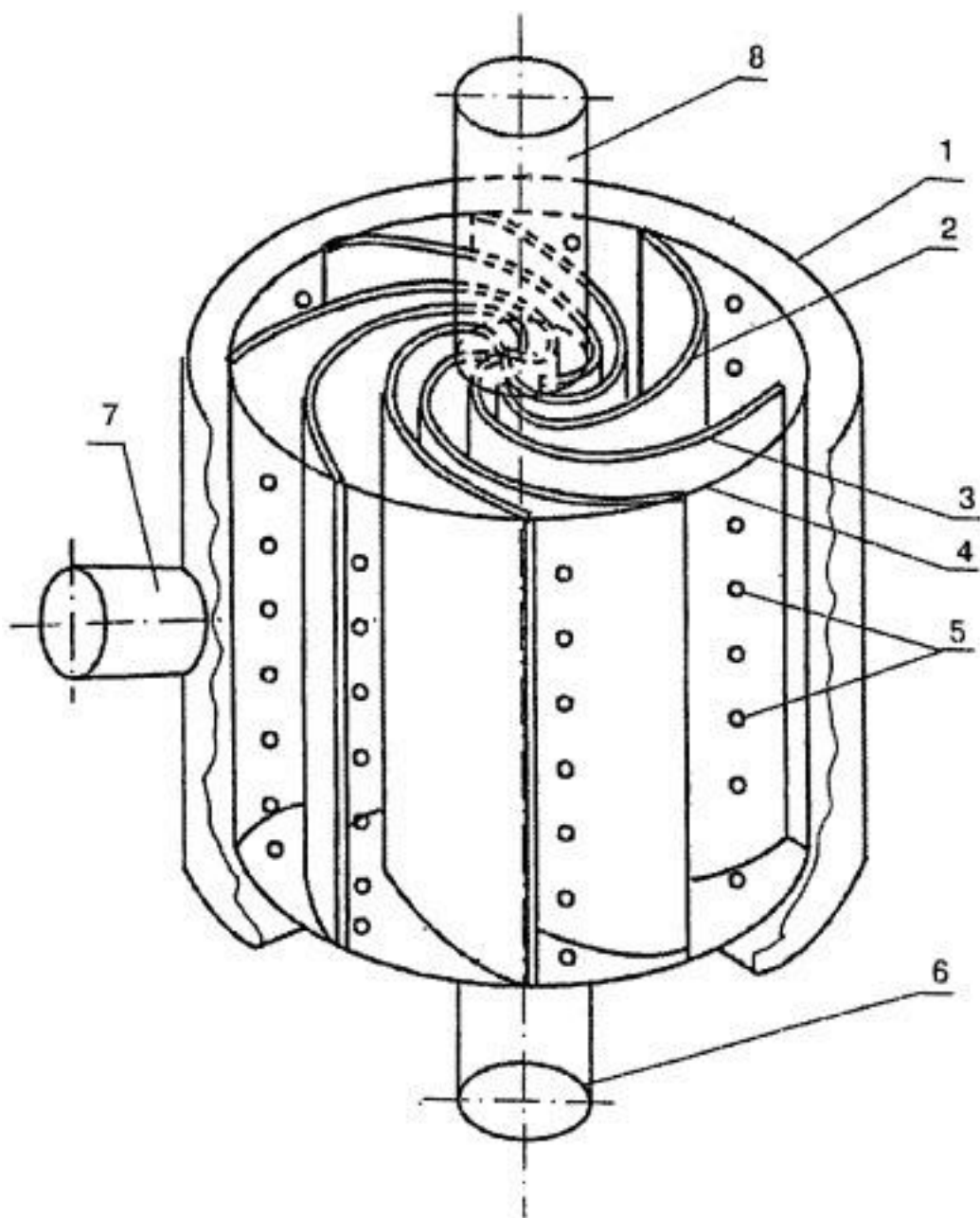


Рис.3.5.6. Електросепаратор

На рис.3.5.6 представлений електросепаратор. До його складу входять: корпус 1, 2 і 3 - електроди протилежної полярності високої електричної напруги, діелектричний колектор 4 збору чистої рідини і отвори 5 в ньому, патрубок 6 відведення очищеної рідини з концентратом забруднень, патрубок 7 відведення чистої рідини, патрубок .

Пристрій електроочищення діелектричних рідин працює наступним чином.

Очищувана рідина через штуцер 8 (рис.3.5.4) надходить всередину електросепаратора 1. Усередині електросепаратора створюється неоднорідне електричне поле, рис.3, шляхом підключення електродів 2 і 3 до джерела високої напруги постійного струму з чергуванням потенціалу знака. При підведенні різниці потенціалів до електродів 2 і 3 між ними утворюється неоднорідне електростатичне поле, напруженість якого має найменше значення у периферії та збільшується в міру зменшення міжелектродного проміжку при наближенні до центральної осі електросепаратора. Рідина, що очищається, подається через штуцер 8 в зону з максимальною напруженістю і неоднорідністю електричного поля. Рідина в корпусі 1 сепаратора розділяється на два потоки: один потік рухається вздовж осі сепаратора до штуцера відведення 6 концентрату забруднень, а другий - від осі сепаратора до його периферії і далі до патрубку відведення чистої рідини 7.

В електричне поле, утворене між електродами 2 і 3, потрапляють частинки забруднень, що знаходяться в потоці, що рухається до периферії, де на них починають діяти кулонівські та пондеромоторні сили, які і захоплюють їх у бік напруження, що збільшується, тобто. до центру сепаратора. Так як у міру наближення до центральної осі напруженість поля зростає, зростають і пондеромоторні та кулонівські сили, що діють на частинки забруднень. Різке зростання цих сил у центрі сепаратора призводить до утримання частинок забруднень від виходу із зони течії основного потоку рідини, який захоплює їх і відносить у напрямку штуцера 6 відведення концентрату забруднень.

Рідина ж, що рухається до периферії сепаратора, втративши забруднень, проходить через отвори 5 діелектричного колектора 4 до патрубку 7 відведення

чистої рідини. Таким чином, здійснюється сепарування рідини, що очищається в електросепараторі, тобто. частина цієї рідини звільняється від забруднень і через патрубків 7, у вигляді чистої рідини, видаляється з сепаратора в резервуар з очищеною рідиною, а інша частина рідини, що залишилася, насичується забрудненнями (в неї переміщуються забруднення з першої частини рідини), тобто. концентрація забруднень у цій частині рідини буде значно більшою порівняно з вихідною концентрацією всієї рідини, що надходить на очищення. Ось цей концентрат забруднень через патрубків, з'єднані зі штуцером 6 виходу електросепаратора і штуцером 10 входу електроочисника, пов'язаних муфтою 9 між собою, надходить на електроочисник 11 (рис.3.5.4), де, через отвори на обмежувальних пластинах 13, втікає і омиває електроди 15, протікаючи через отвори в них, рис.3.5.5. При підключенні пакета електродів 15 джерела високої напруги постійного струму між сусідніми електродами виникає різниця потенціалів. Осередки-накопичувачі забруднень, утворені електродами 15 і діелектричними перегородками 14, створюють неоднорідне електричне поле в каналах руху рідини, забезпечуючи тим самим, по-перше, підзарядку частинок забруднення, по-друге, залучення рідини в рух поперек основного потоку, спрямованого до штуцера 12 (або, на рис.3.5.6, від штуцера 10 до штуцера 12), внаслідок утворення електрогідродинамічних течій. В результаті частинки забруднень вилучаються з потоку в осередки-накопичувачі і осаджуються на електроди 15. Так як концентрація забруднень (тобто кількість частинок забруднень в одиниці об'єму) рідини, що надійшла в електроочисник, з електросепаратора значно вище, ніж у рідини, що надійшла на вхід електросепаратора, то й вилучатися забруднень в одиницю часу буде більше в порівнянні з тим, якщо рідина, що очищається, надходила б в електроочисник, минаючи електросепаратор. Очищена рідина з електроочисника, через штуцер 12 надходить в окрему ємність, куди надходить також чиста рідина з електросепаратора через штуцер 7.

Таким чином, використання винаходу дозволяє значно збільшити продуктивність процесу очищення діелектричних середовищ.

## ВИСНОВКИ

Проблеми раціонального, економного витрачання палива в авіації було вирішено групою дослідників Київського інституту інженерів цивільної авіації. Нові електроочисники в порівнянні з існуючими фільтрами забезпечують більш високу (в 2 - 2,5 рази) ступінь очищення рідин, володіють на один-два порядки більш високою брудоемністю і дозволяють проводити регенерацію без розбирання та демонтажу очищувача.

В останні роки особлива увага дослідників приділяється розробці нових методів очищення та фільтрації рідин різними силовими полями.

Перевагами електроочищення палив у порівнянні з іншими методами очищення в силовому полі є:

- безперервність процесів (можливість очищення у потоці);
- скорочення необхідного обсягу апаратури проти відстоюванням;
- відсутність рухомих деталей, притаманних центрифугування;
- сталість пропускної спроможності та гідравлічного опору;
- можливість повної автоматизації.

Електроочисники для видалення з нафтопродуктів твердих забруднень мають порівняно невеликі габаритні розміри, не змінюють у процесі експлуатації пропускну спроможність і гідравлічний опір, дозволяють автоматизувати процес очистки нафтопродукту. Однак ці пристрої мають досить складну конструкцію, що вимагають кваліфікованого обслуговування, здатні знижувати ефективність очищення при наведенні електростатичних зарядів в ізоляції електродів, що спостерігається іноді у процесі експлуатації. Ці недоліки обмежують на даному етапі застосування електроочищення нафтопродуктів у системах нафтопродуктозабезпечення.

Електроочищення нафтопродуктів у неоднорідному електричному полі набагато ефективніше, ніж використання для цієї мети однорідного поля, при застосуванні якого процес укрупнення крапель протікає досить інтенсивно лише за високої концентрації води в нафтопродукті і значно сповільнюється зі

збільшенням відстані між краплями. У неоднорідних електричних полях рух мікрокрапель води траєкторіями, що збігаються з екіпотенційними лініями поля, відбувається тим інтенсивніше, чим вище градієнт напруженості поля.

Так, хороші результати очищення водно-паливних емульсій (паливо Т-1 з додаванням 10% дизельного палива ДС як емульгатор) на сепараторі виходять при використанні плоских взаємно перпендикулярних електродів та постійного струму.

Фільтр складається із набору металевих пластин покритих ізоляцією. Від кількості та розміру пластин залежить продуктивність фільтра. Ізоляція має витримувати напругу до 100 кВ між пластинами. Простір між пластинами утворює осередки фільтра. Пластини по черзі підключаються до позитивного і негативного полюса генератора імпульсів. Генератор подає однополярні імпульси високої напруги (десятки кіловольт) на пластини. Між пластинами протікає електропровідна рідина, що підлягає фільтрації. Електричний струм між пластинами не протікає, оскільки пластини покриті ізоляцією. У просторі між пластинами створюється пульсуюче електростатичне поле. Під впливом цього поля виникає явище електрофорезу. Частини, що забруднюють рідину, в неоднорідному електростатичному полі, з різних причин, набувають зарядів. Наявність заряду змушує частинку рухатися до пластини, підключеної до електрода протилежного знака, разом із іонами розчинених солей. Ці частинки осідають на ізолюючій поверхні пластин. Під дією потоку рідини вони рухатимуться вниз і далі каналами. Іони і потоки позитивно і негативно заряджених частинок з'єднуються внизу за пластинами, і видаляються з осередку фільтра. Пульсуюча напруга на пластинах необхідна для того, щоб забруднюючі частинки та іони не прилипали "намертво" до ізолюючої поверхні пластин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко В.П. «Загрязнения и очистка нефтяных масел», М., Химия, 1978. - 304 с.
2. Коновалов В.М., Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. «Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков», М., Машиностроение, 1976. - 288 с.
3. Харазов А.М. «Техническая диагностика гидроприводов машин», М., Машиностроение, 1979. - 112 с.
4. Лепешкин А.В. «Гидравлические и пневматические системы», учебник для средн.-проф. образования, 9-ое изд., стереотип., М., издательский центр «Академия», 2015. - 336 с.
5. Григорьев М.А. «Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях», М., Машиностроение, 1970. - 270 с.
6. Коваленко В.П., Турчанинов В.Е. «Очистка нефтепродуктов от загрязнения», М., Недра, 1990. -160 с.
7. Бердичевский Е.Г. «Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов», справочник, М. Машиностроение, 1984. – 224 с.
8. Сасаки А., Сасаока М., Тобису Т., Утияма С. и Сакаи Т., «Использование электростатической жидкостной очистки для контроля загрязнения гидравлического масла», Lubr. англ. Том. 44, № 3, март 1988 г., стр. 251-256.
9. Сасаки А., Кавасаки М., Сакаи Т. Кодзима Х. и Такаяма С., «Исследование проблем с гидрораспределителями», Lubr. англ., Vol. 45, № 3, март 1989 г., стр. 140–146.
10. Сасаки, А. и Ямамото, Т., «Обзор исследований гидравлических замков», Lubr. англ., Vol. 49, № 8, август 1993 г., стр. 585–593.
11. Мурука Ю., «Феномен короны», Corona Publishing Co., Ltd., Токио, 1989, стр. 41.
12. Сасаки, А. и др., «Генерация статического электричества во время фильтрации масла», Lubr. англ. Том. 55, №9, с.14-21.



13. Сасаки, А. и др., «Свободные радикалы и самоокисление масла из-за искровых разрядов статического электричества», *Lubr. англ.* Том. 55, № 9 стр. 24-27.
14. Китахара, А. и Ватанабэ, А. (ред.), «Электрические явления на поверхности» (на японском языке), Kyoritsu Publishing Co., Токио, 1972, стр. 32.
15. Пол, Х.А., «Диэлектрофорез», Кембриджские монографии по физике, Лондон, 1978, стр. 35.
16. О'Коннер, Дж.Дж. и др. (ред.), «Стандартный справочник по технике смазочных материалов», 10) Сакураи Т. (ред.), «Присадки к смазочным материалам» (на японском языке), Saiwai Shobo, Токио, 1973, стр. 274-284.
17. Сасаки, А., Тобису, Т., Утияма, С. и Кавасаки, М., «Анализ нерастворимых в масле продуктов окисления минерального масла методом ГПХ», *Lubr. англ.* Том. 47, № 7, июль 1991 г., стр. 525-527.
18. Гюнсел С., Клаус Э. Э. и Дуда Дж. Л., «Характеристики высокотемпературного осаждения базовых масел и синтетических смазочных материалов», *Lubr. англ.* Том. 44, № 8, 1988, стр. 703-708.
19. Иде, Ф., «Модификация поверхности полимера», Киндай Хеншу, К.К., Токио, 1987, стр. 13-27.
20. Национальная астрономическая обсерватория, «Хронологические научные таблицы 1999 г.», Maruzen Co., Токио, 1999 г., стр. McGraw-Hill Book Company, 1968 г. С.14-3 – 14-4.
21. Белянин П.Н., Черненко Ж.С., «Авиационные фильтры и очистители гидравлических систем», М., Машиностроение, 1964. - 295 стр.