

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра будівельних, колійних та
вантажно-розвантажувальних машин**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних робіт
з дисципліни**

«ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ»

Харків – 2016

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин 9 листопада 2015 р., протокол № 3.

Рекомендуються для студентів усіх форм навчання галузі знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 133 – Галузеве машинобудування.

Укладачі:

доценти С.В. Воронін,
Д.В. Онопрейчук,
О.В. Суранов,
інж. О.О. Суранов,
О.А. Парака,
асист. І.Ю. Сафонюк

Рецензент

проф. М.П. Ремарчук

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни

«ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ»

Відповідальний за випуск Онопрейчук Д.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 20.04.16 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,5. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Зміст

Вступ.....	4
1 Лабораторна робота 1. Визначення впливу концентрації поверхнево-активних речовин у нафтовій оліві на механізм змочування поверхні скла.....	5
2 Лабораторна робота 2. Визначення товщини граничної змащувальної плівки в умовах електростатичної обробки нафтових олів.....	14
3 Лабораторна робота 3. Дослідження впливу електростатичного поля на протизношувальні властивості моторних олів та робочих рідин.....	27
4 Лабораторна робота 4. Дослідження параметрів енергозберігаючих фільтрів для очищення нафтопродуктів від води.....	42
5 Лабораторна робота 5. Отримання наночастинок вуглецю електродуговим методом.....	49

Вступ

Методичні вказівки призначені для студентів Українського державного університету залізничного транспорту. Вони доповнюють та поглиблюють інформацію з курсу “Основи нанотехнологій” і складені відповідно до навчальної програми. Мета даних методичних вказівок - закріплення знань, отриманих на лекціях і під час самостійної роботи. Завдання, які виконують студенти, допоможуть краще засвоїти вивчений матеріал і отримати практичні навички.

При підготовці до проведення лабораторних робіт студенти повинні:

- уважно вивчити методичні рекомендації;
- ознайомитись зі змістом роботи;
- усвідомити її мету та задачі;
- засвоїти правила техніки безпеки при виконанні робіт;
- повторити теоретичний матеріал з розділу курсу “Основи нанотехнологій”;
- провести відповідні виміри, заповнити таблиці, виконати розрахунки, скласти графіки або схеми.

Завершальний етап лабораторної роботи - обробка отриманих даних, їхній аналіз і формулювання висновків.

Результати виконаної лабораторної роботи кожен студент оформлює в робочому журналі, в який заносить:

- номер, назву, мету та задачі роботи;
- опис дії та схеми вимірювальних приладів;
- методику визначення параметрів, які вимірюються;
- результати вимірів і розрахунків;
- висновки з роботи.

Звіт після оформлення необхідно здати викладачу на перевірку. При здачі звіту студенти повинні бути готові до відповідей за змістом роботи, теоретичним курсом та будовою приладів.

Лабораторна робота 1

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН У НАФТОВІЙ ОЛИВІ НА МЕХАНІЗМ ЗМОЧУВАННЯ ПОВЕРХНІ СКЛА

1.1 Мета роботи

Дослідження впливу концентрації поверхнево-активних речовин (ПАР) у нафтовій оливі на механізм змочування поверхні скла.

1.2 Зміст та задачі роботи

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно вивчити рекомендовану літературу, зокрема таку, що містить інформацію про природу та властивості поверхнево-активних речовин (ПАР) для нафтових олив, їх вплив на процес змочування поверхонь тертя.

Визначити коефіцієнти змочування поверхні скла нафтовою оливою без ПАР та з різною їх концентрацією. Порівняти результати та зробити висновки.

Задачі:

1.2.1 Ознайомитись з конструкцією пристрою для визначення змочування та методикою введення присадок в базову оливу.

1.2.2 Визначити коефіцієнт змочування нафтовою оливою поверхні скла без ПАР.

1.2.3 Визначити коефіцієнти змочування нафтовою оливою поверхні скла при різній концентрації ПАР в базовій оливі.

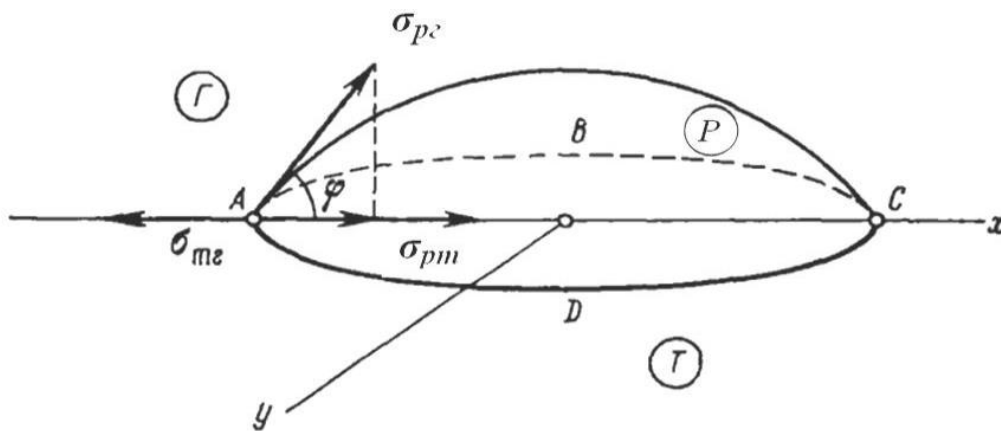
1.2.4 Побудувати графічну залежність коефіцієнта змочування від концентрації ПАР в базовій оливі.

1.3 Теоретичні відомості

Однією з основних функцій нафтових олив є зниження тертя та зносу трибоспряжень в технічних системах за рахунок утворення на їх поверхнях мастильної плівки. Утворення плівки на всіх поверхнях тертя відбувається завдяки процесу змочування.

Змочування – поверхневе явище, яке виникає при контакті рідини з твердим тілом в присутності третьої фази (газу, пари та ін.) або ін. рідини, що не змішується з першою. Воно проявляється в розтіканні рідини та формуванні площі адгезійного контакту, утворенні краплі рідини на поверхні і т.д. Характерна особливість змочування – наявність ліній контакту трьох фаз (лінії змочування).

Мірою змочування є крайовий кут змочування φ , що визначається нахилом поверхні рідини (краплі) до змочуваної нею поверхні твердого тіла [1]. Вершина кута знаходиться на лінії змочування (рисунок 1.1).



- σ_{mg} – поверхневий натяг на границі розділу фаз, тверде тіло-газ;
- σ_{pt} – поверхневий натяг на границі розділу фаз, рідина - тверде тіло;
- σ_{rg} – поверхневий натяг на границі розділу фаз, рідина – газ (повітря)

Рисунок 1.1 – Крапля рідини на поверхні твердого тіла

Поверхневий натяг – сила, що діє на одиницю довжини контуру поверхні та намагається скоротити поверхню до мінімуму при заданих об’ємах фаз. Поверхневий натяг на межі двох конденсованих фаз зазвичай називається міжфазним натягом. Робота утворення нової поверхні витрачається на подолання сил міжмолекулярної зчеплення (когезії) при переході молекул речовини з об’єму тіла в поверхневий шар. Рівнодіюча міжмолекулярних сил в поверхневому шарі не дорівнює нулю (як в об’ємі тіла) і спрямована всередину фази з більшою когезією

[1]. Таким чином, поверхневий натяг - міра некомпенсованості міжмолекулярних сил в поверхневому (міжфазному) шарі або, що те ж, надлишку вільної енергії в поверхневому шарі в порівнянні з вільною енергією в об'ємах контактуючих фаз (вимірюється в джоулях на метр квадратний або ньютон на метр. (Дж/м² або Н/м)).

В залежності від співвідношення діючих по периметру змочування $ABCD$ поверхневих сил (σ_{mz} , σ_{pm} , σ_{pz}) крапля або розтікається по поверхні тіла, або залишається в рівновазі. Стан рівноваги визначається рівнянням

$$\sigma_{mz} = \sigma_{pm} + \sigma_{pz} \cdot \cos\varphi, \quad (1.1)$$

звідси

$$\cos\varphi = \frac{\sigma_{mz} - \sigma_{pm}}{\sigma_{pz}}. \quad (1.2)$$

Величиною кута φ оцінюють *ліофільність* та *ліофобність* поверхонь по відношенню до різних рідин. На ліофільній поверхні рідина розтікається, тобто має місце часткове ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$) або повне змочування ($\varphi = 0^\circ$); на ліофобній – розтікання не відбувається ($\varphi > 90^\circ$).

Крайовий кут залежить від співвідношення сил зчеплення молекул рідини з молекулами або атомами змочуваного тіла та сил зчеплення молекул між собою, тобто співвідношення енергії адгезії та когезії рідини.

Робота адгезії між твердим тілом та рідкою фазою визначається виразом

$$W_{pm} = \sigma_{mz} + \sigma_{pz} - \sigma_{pm}, \quad (1.3)$$

або з врахуванням виразу (1.1) матиме вигляд

$$W_{pm} = \sigma_{pz}(1 + \cos\varphi). \quad (1.4)$$

Робота когезії рідини W_{pp} , тобто робота розриву рідини з поперечним перерізом 1 см² на два стовбці з утворенням 2 см² раніш відсутньої поверхні, дорівнює

$$W_{pp} = 2\sigma_{p\sigma} \quad . \quad (1.5)$$

Для розтікання рідини необхідно виконання такої умови:

$$W_{pm} \geq W_{pp} \geq 2\sigma_{p\sigma} \quad , \quad (1.6)$$

тобто робота адгезії повинна бути більше за роботу когезії [2].

Силу, під дією якої крапля рідини розтікається по поверхні, прийнято виражати через коефіцієнт розтікання β . Ця сила рівна різниці поверхневих натягів або різниці між роботами адгезії та когезії, відповідно рівнянню

$$\beta = \sigma_{m\sigma} - \sigma_{pm} - \sigma_{p\sigma} = W_{pm} - W_{pp} \quad . \quad (1.7)$$

Для покращення розтікання (або навпаки) в рідини додають ПАР. ПАР – речовини, що здатні накопичуватися (згущуватися) на поверхні контакту двох тіл, що називається поверхнею розділу фаз, або міжфазною поверхнею. На міжфазній поверхні ПАР, під дією міжмолекулярних сил, утворюють шар підвищеної концентрації - адсорбційний шар, тим самим знижуючи вільну енергію речовини (зниження поверхневого натягу).

Процес змочування цілком залежить від властивостей рідини та змочуваного тіла, тому в роботі необхідно вивчити поведінку нафтових олив з твердою поверхнею, в ролі якої виступатиме скло, як матеріал, що не потребує спеціальних методів підготовки поверхні. Крім того, вибір скла для досліджень дозволяє оцінювати лише властивості змочування оливи незалежно від стану твердої поверхні. Тоді досліджувана функція буде описувати зміну коефіцієнта змочування від концентрації ПАР.

1.4 Необхідна апаратура та матеріали:

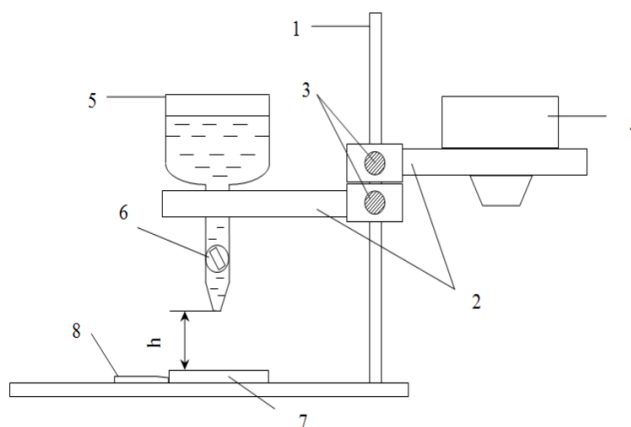
- 1.4.1 Масильний матеріал (індустріальна олива И-20);
- 1.4.2 Поверхнево-активні речовини (олеїнова кислота);
- 1.4.3 Термостатичний бак з нагрівачем;
- 1.4.4 Мірительна колба;

- 1.4.5 Аналітичні ваги;
- 1.4.6 Термометр;
- 1.4.7 Секундомір СДС_{пр.} 1.2.000;
- 1.4.8 Цифрова фотокамера;
- 1.4.9 Пристрій для визначення коефіцієнта змочування.

1.5 Будова та принцип роботи приладів

Визначення коефіцієнта змочування проводиться за допомогою пристрою, схема якого показана на рисунку 1.2.

Будова та принцип роботи пристрою такі: на штативі 1 встановлюються тримачі 2, положення яких фіксується за допомогою затискачів 3. В одному з тримачів закріплюється бюретка з краном 5, розміщується над склом 7 на висоті h приблизно 5-10 мм, що знаходиться на основі штативу з лінійкою 8. В іншому – що відведений у бік, кріпиться фотокамера 4. В бюретку наливається олива, після чого за допомогою крана 6 на кінці бюретки формується крапля, що переходить (падає) на скляну пластину. Як тільки крапля повністю відірвалась та “лягла” на поверхню скла 7, відразу ж послаблюються затискачі 3 і над скляною пластиною фіксується фотокамера 4, за допомогою якої роблять фотознімки краплі через певні проміжки часу.



- 1 – штатив; 2 – тримачі; 3 – затискачі; 4 – фотокамера;
 5 – об’ємна бюретка з краном; 6 – кран бюретки; 7 – скляна
 пластина; 8 – лінійка

Рисунок 1.2 – Пристрій для визначення коефіцієнта змочування нафтовою оливою поверхні скла

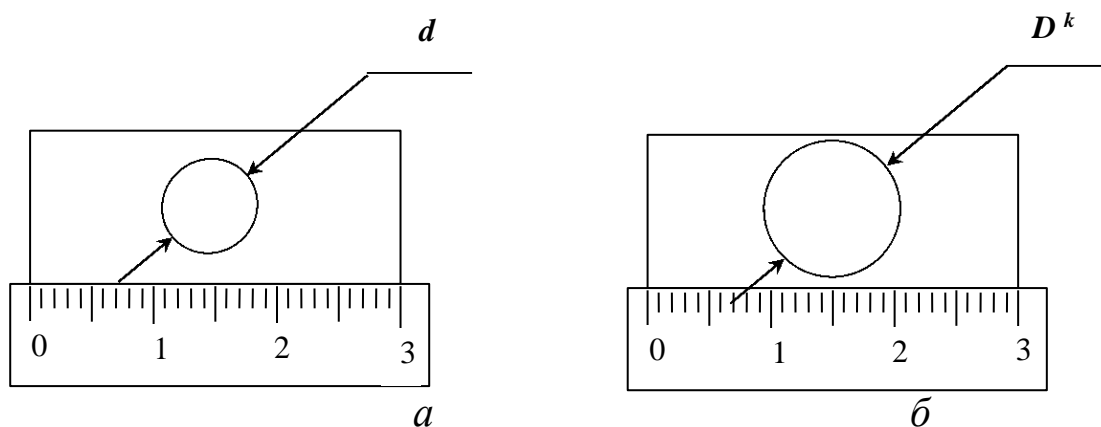
1.6 Порядок та методика виконання роботи

1.6.1 З'ясувати мету та задачі роботи.

1.6.2 Перевірити наявність необхідних матеріалів та приладів.

1.6.3 Визначити коефіцієнт змочування нафтової оливи без присадок И-20 ГОСТ 20799 - 88 на поверхні скла.

Для цього необхідно знежирити та просушити скляну пластину. Після чого покласти її на основу штатива разом з лінійкою так, щоб шкала лінійки щільно прилягала до найдовшого боку пластини. Потім міцно закріпити бюретку та цифрову фотокамеру на штативі та розмістити тримач з бюреткою над скляною пластиною. Наповнити бюретку оливою та за допомогою крана формувати краплю на кінці бюретки. Як тільки крапля оливи від'єдналась від кінця бюретки та лягла на пластину, необхідно увімкнути секундомір, послабити затискачі, відвести у бік тримач з бюреткою та встановити над склом з краплею оливи та лінійкою, щоб лежить поряд, фотокамеру так, щоб чітко було видно шкалу, та сфотографувати. Час від попадання краплі на пластину до моменту першого фотографування повинен бути однаковий при всіх наступних вимірюваннях. Повторні знімки зробити через 30, 60 та 90 секунд після першого фотографування. Далі за допомогою знімків (рисунок 1.3) вирахувати діаметри плям в початковий момент часу (d) та через відповідний час (D_i).



a – фотознімок краплі в початковий момент часу;

б – фотознімок краплі через певний проміжок часу

Рисунок 1.3 – Зображення на знімку фотокамери

Для отримання більш точних результатів дану процедуру повторити тричі.

Після чого визначити середнє арифметичне значення результатів вимірювань

$$d_{cp} = \frac{\sum d_i}{N}, \quad (1.8)$$

де d_i – значення початкового діаметра плями при i – му вимірюванні;

N – кількість вимірювань,

та середнє значення результатів вимірювань через певні проміжки часу

$$D_{cp}^k = \frac{\sum D_i^k}{N}, \quad (1.9)$$

де D_i^k – значення діаметра плями через певний проміжок часу при i – му вимірюванні.

Відношення діаметра плями через певний проміжок часу до початкового діаметра плями назвемо *коефіцієнтом змочування*, тобто

$$K_3^k = \frac{D_{cp}^k}{d_{cp}}. \quad (1.10)$$

1.6.4 Визначити коефіцієнт змочування нафтової оливи з присадками И-20 на поверхні скла.

Щоб виконати дане завдання, спочатку слід ввести присадку в базову оливу. Концентрацію присадки в оливі прийняти 1:100. В даній роботі можна використовувати один з двох способів, що наведені нижче.

1 Масова концентрація. Визначається за масовою часткою речовини. Задана концентрація 1:100, отже, необхідно 99 г оливи та 1 г присадки (олеїнова кислота). Для того, щоб відібрати таку масу оливи, потрібно зважити мірильну колбу на аналітичних вагах, після чого набрати в колбу оливу та знову зважити.

Різниця мас повної колби та порожньої повинна дорівнювати 99 г – маса оливи. Аналогічно відібрати й 1 г олеїнової кислоти.

2 Об'ємна концентрація. Цей спосіб набагато простіший та потребує лише, в нашому випадку, мірительний посуд об'ємом не менше 150 мл та ціною поділки шкали 1 мл. Таким посудом може бути мірительна колба. Необхідно налити в колбу, за шкалою, 99 мл оливи, а в іншу – 1 мл олеїнової кислоти. Оскільки об'ємну концентрацію речовини зробити набагато простіше, то даний процес не потребує додаткових вимірювань, доцільно використовувати об'ємну концентрацію присадки в базовій оливі.

Відібраний об'єм оливи вилити до термостатичного бака та нагріти до 60-70°C з метою кращого розчинення присадки. Потім додати олеїнову кислоту та розмішувати протягом 15-20 хвилин.

Нафтову оливу з присадками необхідно охолодити до кімнатної температури, після чого повторити процедуру визначення коефіцієнта змочування.

Таким самим способом визначити коефіцієнт змочування оливи з присадками на поверхні скла з концентрацією 3:100 мл, тобто 3 мл присадки та 97 мл оливи.

Всі результати вимірювань занести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Зміна коефіцієнта змочування в залежності від часу знаходження на склі при різній концентрації ПАР

Концентрація ПАР в нафтовій оливі	Порядковий номер виміру	d, мм	D ¹ , мм 30 с	D ² , мм 60 с	D ³ , мм 90 с	d _{ср} , мм	D ¹ _{ср} , мм	D ² _{ср} , мм	D ³ _{ср} , мм	Коефіцієнт змочування, K _з		
										K _з ¹	K _з ²	K _з ³
0	1											
	2											
	3											
1:100	1											
	2											
	3											
3:100	1											
	2											
	3											

1.6.5 Побудувати такі графіки:

- залежності коефіцієнта змочування від часу знаходження краплі на поверхні скла при різних значеннях концентрації ПАР в нафтовій оливі;

- залежності коефіцієнта змочування від концентрації ПАР за однаковий (на вибір) час перебування краплі на склі.

1.6.6 Зробити висновки з роботи.

Контрольні запитання

- 1 Що таке змочування? Що є мірою змочування?
- 2 Від чого залежить крайовий кут?
- 3 За яких умов відбувається часткове та повне змочування поверхні?
- 4 Що таке адгезія, когезія?
- 5 Що таке поверхневий натяг?
- 6 Що таке коефіцієнт розтікання?
- 7 Чому необхідно підігрівати нафтову оливу перед введенням присадки?
- 8 Що таке ПАР?
- 9 Як взаємодіють молекули ПАР з молекулами базової оливи?
- 10 Як відібрати необхідну масу речовини?

Список літератури

- 1 Ахматов, А.С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А.С. Ахматов. - М.: Физматгиз, 1963. – 471 с.
- 2 Шехтер, Ю.Н. Маслорастворимые поверхностно-активные вещества [Текст] / Ю.Н. Шехтер, С.Э. Крейн, Л.Н Тетерина. – М.: Химия, 1978. – 304 с.

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ГРАНИЧНОЇ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ПЛІВКИ В УМОВАХ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ НАФТОВИХ ОЛИВ

2.1 Мета роботи

Дослідження впливу електростатичного поля на товщину граничної мастильної плівки.

2.2 Зміст та задачі роботи

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно вивчити рекомендовану літературу, зокрема, вплив зовнішніх силових полів на мастильні матеріали.

Визначити товщину мастильної плівки без обробки електричним полем та при обробці мастильного матеріалу силовим полем різної напруженості. Порівняти результати та зробити висновки.

Задачі:

2.2.1 Ознайомитись з конструкцією гідростанції, пристрою обробки мастильних матеріалів, приладу вимірювання товщини мастильної плівки.

2.2.2 Визначити товщину мастильної плівки без обробки мастильного середовища електричним полем.

2.2.3 Визначити товщину мастильної плівки при обробці мастильного матеріалу електричним полем різної напруженості.

2.2.4 Побудувати графічну залежність товщини мастильної плівки від напруженості електростатичного поля.

2.3 Теоретичні відомості

Головною причиною виходу з ладу деталей машин і механізмів є знос, що є наслідком процесу тертя. Запобіжним заходом від цього явища є використання мастильних матеріалів, що мають протизношувальну властивість, тобто здатність формувати мастильний шар, який розділяє поверхні тертя різних

механізмів. В залежності від товщини мастильного шару розрізняють різні види мащення. З точки зору зносу трибосполучень найбільш небезпечним є граничний режим мащення. Цей режим реалізується в умовах високих контактних навантажень, низьких швидкостей переміщення поверхонь одна відносно одної. Відповідно товщина мастильної плівки при граничному терті є одним з визначальних факторів, що впливає на інтенсивність зносу трибосполучень

$$I = \frac{A \cdot v^{-0.4} \cdot \mu^{-\frac{1}{6}} \cdot P}{l_T \cdot h^2}, \quad (2.1)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від матеріалу поверхні тертя, природи поверхнево-активних компонентів та шорсткості поверхні;

v – швидкість ковзання поверхонь тертя, м/с;

μ – динамічна в'язкість мастильного матеріалу, Па·с;

P – тиск, Па;

l_T – енергетична щільність тертя, що встановлена на основі аналізу енергетичного балансу тертя;

h – товщина мастильної плівки при граничному терті, м.

Як видно з залежності (2.1) інтенсивність зносу трибосполучень обернено пропорційна квадрату товщини мастильної плівки.

Розгляд процесу формування мастильного шару необхідно розпочати з структури мастильних матеріалів.

Мастильні матеріали – це колоїдні системи, компонентами яких є базова олива (середовище), молекули поверхнево-активних речовин (ПАР), частинки зносу і забруднень металевих та неметалевих походження (пісок, пил, притиральні пасти та ін.).

Концентрація багатьох ПАР (присадок) в мастильному матеріалі перевищує значення $ККМ_1$ та $ККМ_2$ (критична концентрація міцелоутворення). Міцелоутворення прямо залежить від енергії зв'язку молекул ПАР із середовищем (W_1) і між собою (W_2). При $W_2 > W_1$ утворюються міцели. Отже,

частина з них перебуває в асоційованому стані й не бере участь в адсорбційних процесах. Враховуючи, що процес взаємодії мономерів молекул ПАР з поверхнями тертя є визначальним, з погляду формування граничних мастильних шарів і запобігання від зношування вузлів тертя, то головне завдання поліпшення роботи протизношувальних та інших присадок полягає в переведенні молекул ПАР зі зв'язаного стану в поодинокій. Цілком природно, що процес переведення молекул присадки з агрегатного стану в мономолекулярний може відбутися за умови, якщо енергія зв'язку молекули ПАР із поверхнею тертя W_{Π} більша від енергії зв'язку молекул в агрегаті W_a , тобто $W_{\Pi} > W_a$ [1]

Силоне поле металевої поверхні слабшає пропорційно 3 – 4 - й степені відстані, тобто товщина адсорбованого полімолекулярного квазікристалічного шару обмежується відстанню, на якій поле металу ще здатне розщепити міцелярні утворення в мастильному середовищі й зафіксувати молекули ПАР.

Час утворення граничних шарів на адсорбуючій поверхні може становити кілька годин в залежності від температури й інтенсивності переміщення часток мастильного середовища, а також від його складу й зовнішніх умов. За цей період, так званий латентний період, властивості граничного шару змінюються, що позначається на характері тертя.

Для руйнування агрегатів та інтенсифікації адсорбційного процесу надамо допомогу силовому полю поверхні шляхом обробки мастильного середовища електростатичним полем. При цьому відбувається поляризація мастильного середовища. Молекули ПАР, завдяки постійному дипольному моменту, орієнтуються в напрямку напруженості поля (рисунок 2.1) [2].

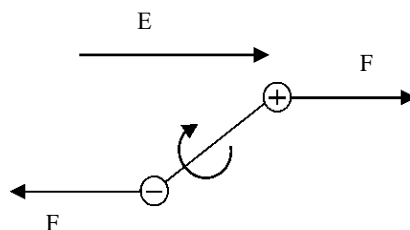
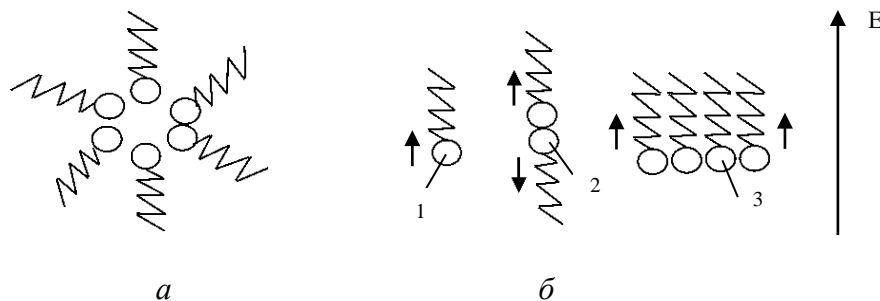


Рисунок 2.1 – Поляризація молекули ПАР в електричному полі

Міцели, під впливом електростатичного поля на мастильний матеріал, руйнуються з подальшим створенням нових надмолекулярних структур: мономерів (одиначні молекули), димерів (складаються з двох молекул), макродиполів (рисунк 2.2).



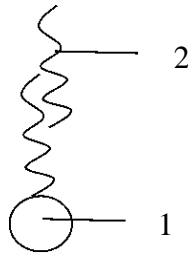
a – до впливу полем; *б* – після впливу полем:

1 – одиначна молекула; 2 – димер; 3 – макродиполь
(пакет присадки)

Рисунк 2.2 – Зміни надмолекулярних структур присадки під впливом зовнішнього поля

Тепер зупинимось на впливі зовнішнього електростатичного поля на базову оливу. За своїм складом її можна віднести до неполярного діелектрика. При накладенні зовнішнього поля на оливу відбувається процес поляризації, оскільки позитивні заряди будуть прагнути по напрямку вектора напруженості, а від'ємні – протилежно. В результаті молекули базової оливи набувають дипольного моменту і вона поляризується. Структура оливи при цьому не змінюється, і відповідно її молекули взаємодіють з вуглеводневим радикалом ПАР і утворюють додатково направлений шар своїх молекул по вектору напруженості (рисунк 2.3).

Враховуючи поведінку компонентів мастильного середовища під впливом електростатичного поля, процес формування мастильного шару матиме наступний вигляд.



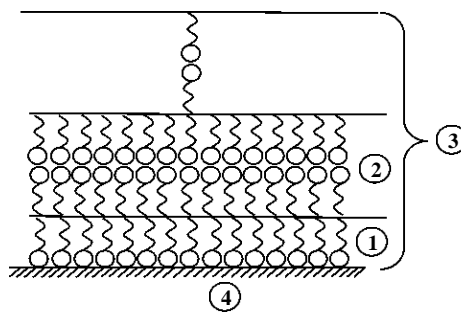
1 – молекула ПАР; 2 – молекула базової оливи

Рисунок 2.3 – Взаємодія молекул ПАР з молекулами базової оливи при накладенні зовнішнього електричного поля

Адсорбційний шар складатимуть молекули присадки. Після обробки робочої рідини вони знаходяться у вигляді мономерів, димерів, “пакетів”. З даних надмолекулярних структур, враховуючи фізичну конкурентну адсорбцію, в першу чергу адсорбовуватимуться диполі в “пакетному” варіанті, оскільки їх сумарний дипольний момент багаторазово перевищує димерний і мономерний варіант.

Загальна фізична картина формування мастильної плівки зображена на рисунку 2.4.

В роботі необхідно визначити товщину квазікристалічного шару, який показаний на рисунку 2.4.



1 – моношар; 2 – димерний ряд; 3 – квазікристалічний шар;
4 – поверхня тертя

Рисунок 2.4 – Структура граничного мастильного шару ПАР

2.4 Необхідна апаратура і матеріали

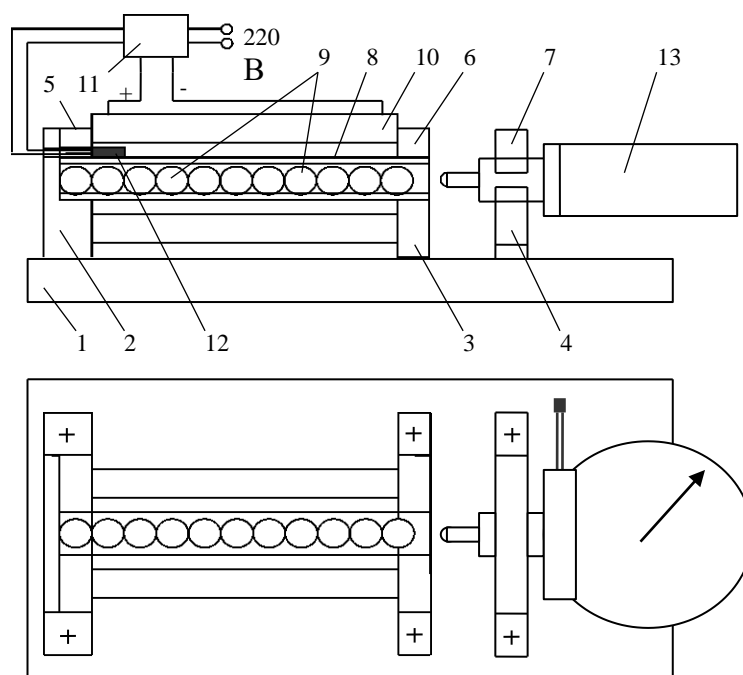
- 2.4.1 Мастильний матеріал (моторна олива, гідравлічна олива);
- 2.4.2 Прилад для вимірювання товщини мастильної плівки;
- 2.4.3 Пристрій для обробки мастильного матеріалу електростатичним полем;
- 2.4.4 Перетворювач напруги для живлення пристрою (ВС-23);
- 2.4.5 Гідравлічна станція для формування потоку оливи через пристрій;
- 2.4.6 Високовольтний вольтметр марки С-96;
- 2.4.7 Вольтметр універсальний В7-21А;
- 2.4.8 Секундомір СДС_{пр.} 1.2.000.

2.5 Будова та принцип роботи приладів

Вимірювання товщини мастильної плівки проводиться за допомогою приладу, схема якого показана на рисунку 2.5. За основу був узятий метод стопи А.С. Ахматова, але для того щоб виключити вплив часток забруднень на результати вимірювань, замість пластин були взяті кулі.

Будова та принцип роботи пристрою такі: на плиті 1 з опорами 2, 3, 4, встановлюється трубка 8 з отвором $d = 12,5$ мм на опорах 2, 3. Положення трубки 8 на опорах фіксується кришками 5, 6. На опорі 4 встановлюється індикатор 13 (мікрометр), положення якого фіксується кришкою 7. Трубка 8 поміщена в нагрівач 10, живлення якого здійснюється від мережі змінної напруги 220 В, а підтримання температури при вимірюваннях здійснюється терморегулятором 11 і датчиком 12. У трубці 8 розміщується стовп ретельно промитих, знежирених і висушених сталевих кульок 9, виготовлених із сталі ШХ15. Стовп куль навантажують із зусиллям, що розвивається пружиною мікрометричної головки індикатора 13. Потім стрілку індикатора встановлюють в нульове положення, після чого знімають навантаження на стовп за допомогою розвантажувального пристрою індикатора. Виймають кулі і змочують їх оливою, що випробовується. Поміщають змочені кулі в трубку 8 і

аналогічним чином навантажують стовп куль. Після того як стрілка індикатора припинить рух, знімають отримані показники.



1 – плита; 2, 3, 4 – опори; 5, 6, 7 – притискні кришки; 8 – скляна трубка; 9 – кулі; 10 – нагрівач; 11 – регулятор температури; 12 – датчик температури; 13 – мікрометр

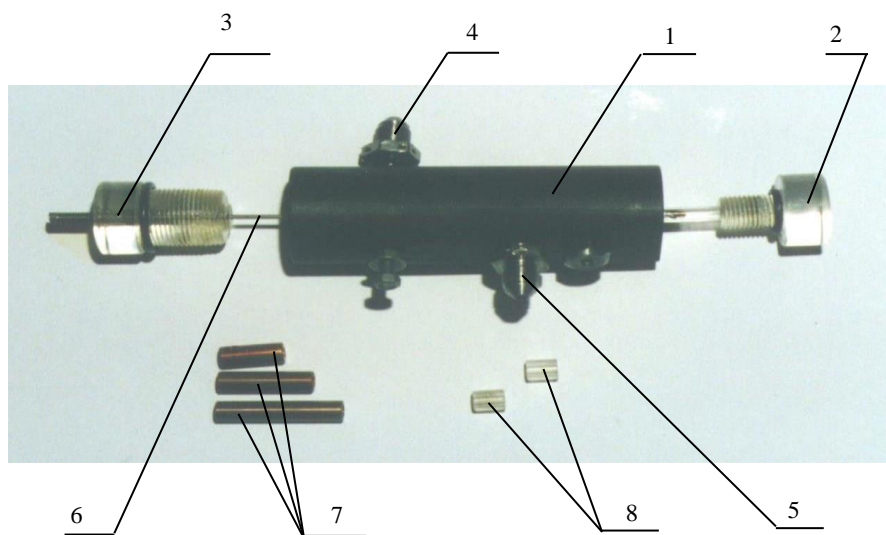
Рисунок 2.5 – Схема приладу для вимірювання товщини мастильної плівки

Для обробки мастильних матеріалів електричним полем (ЕП) використовується лабораторний зразок пристрою з коаксіальним розташуванням електродів, що зображений на рисунку 2.6.

Напруга на електроди пристрою для обробки ЕП подається з джерела високої напруги ВС-23, його технічні дані наведені у таблиці 2.1. Контроль напруги проводиться за допомогою високовольтного вольтметра С-96, а контроль струму в міжелектродному просторі проводиться за допомогою універсального вольтметра В7-21А.

Таблиця 2.1 – Технічні дані джерела високої напруги ВС-23

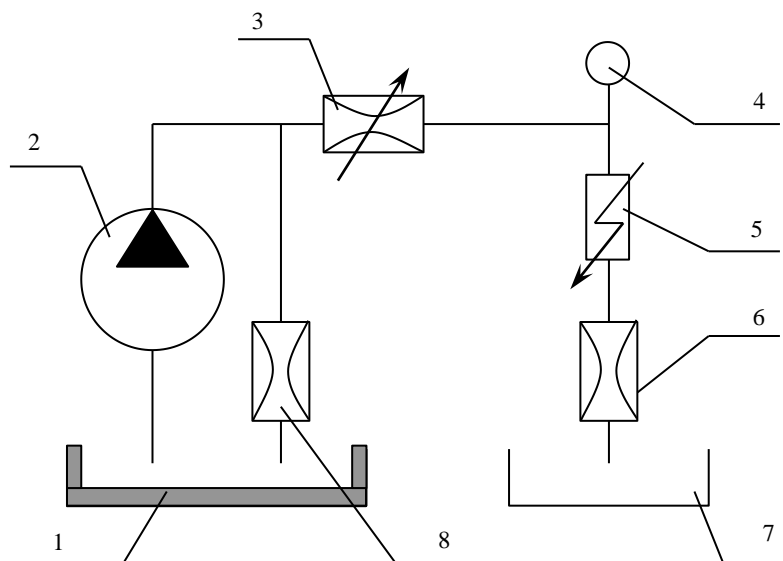
Показник	Значення
Живлення приладу від мережі: - напруга, В - частота, Гц	220±10% 50±0,5
Споживча потужність, Вт	не більше 300
Напруга трьохкіловольтного джерела, В	500...3000
Джерело ізольоване від корпусу і дозволяє з'єднати з корпусом плюс і мінус вихідної напруги	
Напруга десятикіловольтного джерела, В	2000...10000
Максимальний струм навантаження кожного джерела, мА	5
Нестабільність вихідних напруг приладу при вимірюванні напруги мережі на 10% від номінального значення при незмінному навантаженні, %	не більше 0,5
Пульсації вихідних напруг при максимальному навантаженні, %	не більше 0,5



1 – корпус; 2, 3 – кришка; 4, 5 – штуцер; 6 – внутрішній електрод;
7 – зовнішні електроди; 8 – діелектричні втулки

Рисунок 2.6 – Лабораторний зразок пристрою обробки
мастильних матеріалів електростатичним полем

Формування потоку мастильної речовини через пристрій відбувається за допомогою гідравлічної станції, схема якої наведена на рисунку 2.7.



1 – термостатичний бак з нагрівачем; 2 – пластинчатий насос;
3,6,8 – дросель; 4 – манометр; 5 – пристрій обробки мастильної речовини; 7 – ємність для обробленої мастильної речовини

Рисунок 2.7 – Схема лабораторної гідростанції

2.6 Порядок та методика виконання роботи

2.6.1 Вивчити завдання і схему роботи пристроїв.

2.6.2 Перевірити прилади.

2.6.3 Виміряти товщину мастильної плівки необробленої оливи.

Для цього необхідно дістати з вимірювального пристрою кулі, знежирити їх та просушити. Після чого помістити назад в скляну трубку вимірювального пристрою та навантажити із зусиллям, що розвивається пружиною мікрометричної головки індикатора. Встановити стрілку індикатора в нульове положення та зняти навантаження на стовп куль за допомогою розвантажувального пристрою індикатора. Вийняти кулі і змочити їх оливою, що випробовується. Помістити змочені кулі в трубку і аналогічним чином навантажити стовп куль, при цьому забезпечити необхідну температуру оливи за допомогою

регулятора температури (для гідравлічних олив температурний діапазон становить 20...80 °С, для моторних – 20...100 °С). Після того, як стрілка індикатора припинить рух, зняти отримані показники та вирахувати товщину мастильної плівки на одній поверхні за виразом

$$h_i = \frac{\sum h}{2 \cdot (n+1)}, \quad (2.2)$$

де n – кількість кульок в стопі;

$\sum h$ – сумарна товщина плівок на кульках (отриманий показник при вимірюванні).

Дане вимірювання повторити 10 разів з метою визначення мінімально необхідної повторності дослідів. Після чого знайти середнє арифметичне значення результатів вимірювань

$$h_{cp} = \frac{\sum h_i}{N}, \quad (2.3)$$

де h_i – значення товщини плівки при проведенні i – го вимірювання;

N – кількість вимірювань.

Всі результати вимірювань занести до таблиці 2.2.

Таблиця 2 – Результати вимірювань

	Порядковий номер виміру										Середнє значення	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Товщина плівки, мкм												

У вимірювальному приладі використовується 10 куль з метою отримання більш точних результатів при визначенні середніх значень товщини мастильної плівки, хоча мінімально достатня кількість куль в стопі визначається виходячи з точності індикаторної головки і величини зміни товщини плівки, що

адсорбується на поверхні куль. Тобто розрахунок мінімально необхідної кількості кульок з умови отримання достовірних результатів вимірювань, виходячи з очікуваної товщини плівки, проводиться за виразом

$$n = \frac{e}{2 \cdot h_i} - 1, \quad (2.4)$$

де e – точність вимірювального приладу ($e = 1 \cdot 10^{-6}$ м);
 h_i – очікувана товщина мастильної плівки ($h = 0,1 \cdot 10^{-6}$ м).

2.6.4 Знайти мінімально необхідну повторність вимірювань.

Знаходимо середньоквадратичне відхилення вимірювань

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (h_i - h_{cp})^2}{N - 1}}. \quad (2.5)$$

Визначимо мінімально необхідну повторність вимірювань

$$n_{\min} \geq \frac{\sigma^2 \cdot t_{kp}^2}{\Delta^2 \cdot h_{cp}^2}, \quad (2.6)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення вимірів;
 t_{kp} – табличне значення коефіцієнта Стюдента, $t_{kp} = 1,81$ при надійності результатів $P = 0,9$;
 Δ – допустима відносна похибка вимірювань, $\Delta = 0,5$;
 h_{cp} – середнє арифметичне значення результатів вимірювань.

2.6.5 Визначити товщину мастильної плівки при обробці мастильного матеріалу електричним полем різної напруженості ($0,5 \times 10^6$ В/м; 1×10^6 В/м; $1,5 \times 10^6$ В/м).

Залити випробувану оливу до термостатичного бака з нагрівачем гідравлічної станції. Нагріти оливу до відповідної температури (для гідравлічних олив $t = 60^\circ\text{C}$, для моторних – $t =$

90 °С). Увімкнути насос, заміряти витрати оливи через пристрій обробки та визначити швидкість потоку оливи в полі

$$v = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q}{D^2 - d^2}, \quad (2.7)$$

де Q – витрата оливи через пристрій обробки, м³/с;
 D і d – відповідно діаметри зовнішнього та внутрішнього електродів пристрою, м ($D = 4$ мм, $d = 2$ мм).

Відрегулювати необхідну швидкість за допомогою дроселя ($v = 6$ м/с).

Увімкнути джерело живлення пристрою обробки та подати напругу на електроди таку, яка відповідає напруженості поля $0,5 \times 10^6$ В/м, що визначається виразом

$$U = E \cdot r \cdot \ln \frac{R}{r}, \quad (2.8)$$

де R і r – відповідно радіуси зовнішнього та внутрішнього електродів, м;
 E – напруженість поля.

При цьому $I \leq 200$ мкА. Потім за відомою методикою проводимо вимірювання товщини мастильної плівки обробленої оливи.

Аналогічно оброблюємо оливу електростатичним полем напруженістю 1×10^6 В/м та $1,5 \times 10^6$ В/м і вимірюємо товщину мастильної плівки при відповідних значеннях напруженості поля.

Кількість повторень вимірювань повинна відповідати значенню n_{\min} пункту 2.6.4.

Отримані результати вимірювань занести до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Зміна товщини мастильної плівки на поверхні кульок

Напруженість поля $\times 10^6$, В/м	Порядковий номер виміру	Товщина мастильної плівки, мкм	Середнє значення товщини мастильної плівки, мкм
0,5	1		
	2		
	3		
	...		
1	1		
	2		
	3		
	...		
1,5	1		
	2		
	3		
	...		

2.6.6 Побудувати графік залежності товщини мастильної плівки від напруженості електростатичного поля за табличними даними.

2.6.7 Зробити висновки з роботи.

Контрольні запитання

1 Який режим мащення є найнебезпечнішим з точки зору зносу?

2 Як інтенсивність зносу залежить від товщини граничної мастильної плівки?

3 Що таке надмолекулярні структури вуглеводневих рідин? Яким чином вони утворюються?

4 Який механізм взаємодії вуглеводневих рідин з поверхнею металу?

5 Як впливає електростатичне поле на формування граничної мастильної плівки?

6 З чого складається вимірювальний прилад товщини мастильної плівки? Який метод був взятий за основу при створенні приладу, його суть?

7 Чому в приладі вимірювання товщини мастильної плівки використовуються кулі, а не пластини?

8 Від чого залежить кількість кульок у вимірювальному приладі товщини мастильної плівки?

9 У чому полягає метод вимірювання товщини мастильної плівки обробленої оливи?

Список літератури

1 Лысиков, Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] / Е.Н. Лысиков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин. – Харьков: ЭДЭНА, 2009. – 274 с.

3 Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.Н. Лысиков [и др.]. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 544 с.

Лабораторна робота 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ НА ПРОТИЗНОШУВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ МОТОРНИХ ОЛИВ ТА РОБОЧИХ РІДИН

3.1 Мета роботи

Вивчення процесу зміни швидкості зносу пар тертя при електростатичній обробці моторної оливи або робочої рідини (РР).

3.2 Зміст та задачі роботи

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно вивчити рекомендовану літературу з фізичних основ впливу зовнішніх силових полів на властивості мастильних матеріалів.

Визначити швидкість зносу пар тертя без електростатичної обробки та при обробці мастильного матеріалу силовим полем різної напруженості. Порівняти результати та зробити висновки.

Задачі:

3.1.1 Ознайомитись з конструкцією лабораторної установки для проведення зношувальних випробувань на машині тертя СМТ-1.

3.1.2 Визначити швидкість зносу пар тертя без електростатичної обробки мастильного середовища;

3.1.3 Визначити швидкість зносу пар тертя при обробці мастильного матеріалу електростатичним полем різної напруженості.

3.1.4 Побудувати графічну залежність швидкості зносу пар тертя від напруженості електростатичного поля.

3.3 Теоретичні відомості

В процесі роботи трибосполучень їх поверхні зношуються. Це відбувається тому, що в більшості вузлів тертя технічних систем не вдається забезпечити гідродинамічне тертя. В таких випадках спостерігається граничне тертя, що призводить до механічного зносу поверхонь трибо систем. Під дією різних факторів, таких як великі швидкості роботи, контактні навантаження, температура, специфічні умови експлуатації можливе руйнування граничної мастильної плівки, що призводить до задирів, схоплення та руйнування поверхонь тертя.

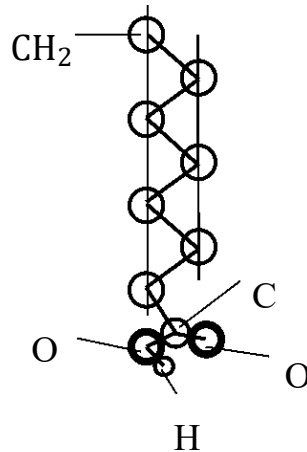
З метою запобігання таким процесам, а також зниженню тертя та інтенсивності зносу поверхонь тертя мастильному матеріалу підвищують протизношувальні, протизадирні та інші експлуатаційні характеристики шляхом введення різних функціональних присадок. При складанні мастильної композиції слід враховувати всі можливі взаємодії, такі як молекули присадок – молекули базової оливи, молекули присадок один з

одним, молекули присадок з поверхнями тертя, молекули присадок із продуктами окиснення й іншими частками (продуктами зношування, забруднень і т.д.). З урахуванням цих взаємодій ефективність функціональної дії присадок може збільшуватися (синергетичний ефект) або послаблятися (антагоністичний ефект). В ролі присадок використовують органічні кислоти, металеві мила, спирти.

Протизношувальні присадки є поверхнево – активними речовинами (ПАР), що складаються з вуглеводневого радикала і полярної частини. Їхні молекули мають подібну будову, яка показана на рисунку 3.1.

Як видно зі структури, молекула ПАР має ланцюгову будову, яка утворюється вуглеводневим радикалом виду й полярно-активною частиною, наприклад для жирних кислот – COOH . Остання має постійний дипольний момент завдяки розбіжності центрів позитивних і негативних зарядів. В окремих молекул ПАР може бути кілька активних груп. Полярно-активна частина ПАР має у своїй структурі полярний ковалентний зв'язок. За такого зв'язку створюється спільна електронна хмара, яка зміщена до більш електронегативного атому. В результаті чого в одній частині молекули з'являється надлишковий негативний заряд, а в другій – надлишковий позитивний. При загальному нейтральному заряді такого з'єднання полярно-активна частина молекули має постійний дипольний момент. Поле диполя є дещо більшим, аніж поле молекул базової оливи, що дозволяє молекулам ПАР притягуватися до поверхонь і адсорбуватися на них. Змащувальна плівка на поверхні тертя, яка складається з молекул ПАР, є стійкою до руйнування [1].

Таким чином, присадки є полярними діелектриками тому, що їх молекули мають постійний дипольний момент, тобто мають високу вільну енергію. Наявність вільної енергії призводить, з одного боку, до утворення більш міцних зв'язків молекули з поверхнею, а з іншого – до інтенсивного агрегування останніх в об'ємі робочої рідини. Утворення надмолекулярних структур (міцел) відбувається лише за достатньої концентрації присадки в базовій оливі.



C - атом вуглецю; *H* - атом водню; *O* - атом кисню

Рисунок 3.1 – Будова молекули ПАР

Для більшості ПАР встановлені значення критичної концентрації міцелоутворення (ККМ), нижче якої стійкі міцели не утворюються, а вище перебувають у рівновазі з неасоційованими молекулами. Крім цього розрізняють ККМ₁ і ККМ₂. Перша з них відповідає даному вище визначенню, а друга відповідає концентрації ПАР, вище якої всі молекули перебувають в асоційованому стані. Діапазон між ККМ₁ і ККМ₂ відповідає рівноважному стану між мономерами й міцелами розчиненої речовини, тобто частина ПАР перебуває в асоційованому стані й не бере участь в адсорбційних процесах.

Збільшення концентрації протизношувальних ПАР, як показують експериментальні дослідження, зменшує знос тільки до певної величини, потім він знову збільшується (рисунок 3.2) [2].

Протизношувальні властивості найкращих з ефективними присадками мастильних матеріалів повністю зводяться нанівець, якщо в них міститься хоча б невелика кількість абразивних механічних домішок. У цьому випадку знос різко зростає, на поверхнях з'являються риси, подряпини. Відбувається це тому, що пил складається з частинок кварцу різного розміру, твердість яких вище, ніж багатьох металів. Коли забруднена олива потрапляє на поверхні тертя, кварц здирає стружку металу, в результаті чого і зростає знос.

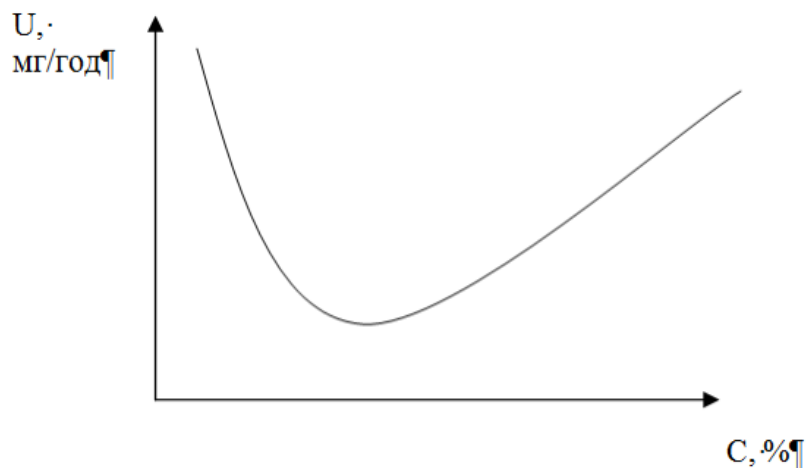
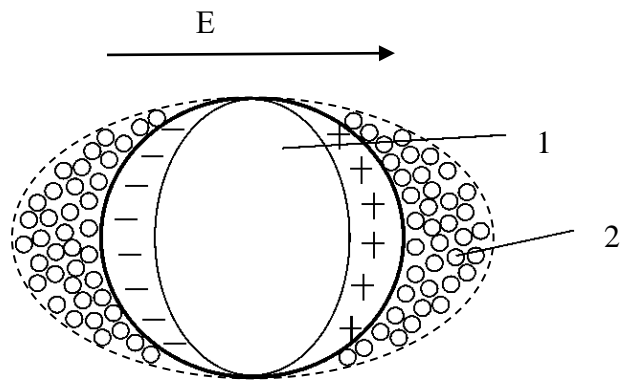


Рисунок 3.2 – Залежність зносу від концентрації присадки

Частинки забруднення (пил та інше) так, як і металеві частинки зносу чи забруднення, взаємодіють з молекулами ПАР, оскільки вони мають гідрофільно-гідрофобні властивості. Рухаючись в мастильному середовищі, вони здатні набувати внаслідок тертя статичного електричного заряду. Але сили взаємодії молекул ПАР з такими частинками забруднень будуть значно менші, ніж з продуктами зносу.

Для руйнування (перебудови) надмолекулярних агрегатів, що утворюють ПАР, та зміни негативного впливу частинок забруднення, як металевого, так і неметалевого походження, на позитивний, необхідно ввести підготовчий етап перед подачею мастильного матеріалу в пару тертя, який полягає в обробці мастильного середовища електростатичним полем.

Якщо уявити частинку зносу у вигляді шару, то на її поверхні напруженість поля буде збільшеною порівняно з зовнішнім полем. Під впливом утвореного локального зовнішнього поля навколо продуктів зносу дипольні моменти молекул ПАР приймають його напрямом, а оскільки частинка зносу – метал, то молекули ПАР адсорбуються на такій поверхні з середовища базової оливи. Таке локальне поле за величиною та областю дії перевищує електромагнітне поле звичайного металу, тому на поверхнях таких частинок зносу буде утворюватись полімолекулярний шар ПАР (рисунок 3.3) [3].

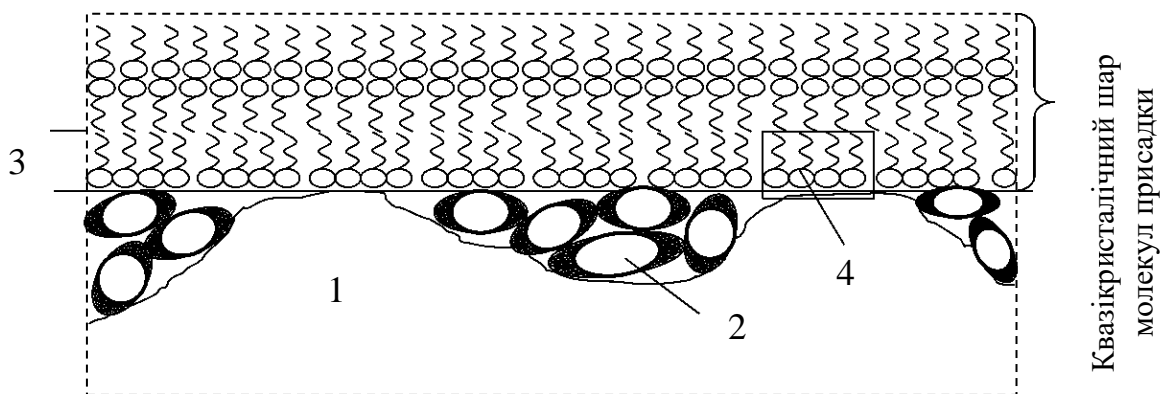


1 – продукт зносу; 2 – полімолекулярний шар ПАР

Рисунок 3.3 – Продукт зносу, вкритий полімолекулярним шаром ПАР

Особливістю таких частинок є виконання ними функцій, пов'язаних зі “збором” молекул ПАР, що знаходяться навколо них в базовій оливі, тобто частинка виступає в ролі концентратора молекул ПАР. Але розподіл молекули ПАР по поверхні буде нерівномірним і пропорційним розподілу локального поля навколо частинки.

Після обробки мастильного середовища електростатичним полем формування мастильної плівки на реальній поверхні тертя матиме вигляд, як на рисунку 3.4.



1 – поверхня тертя; 2 – продукти зносу, покриті оболонкою ПАР;
3 – монокристалічний шар; 4 – “пакети” молекул присадок

Рисунок 3.4 – Структура мастильної плівки після обробки мастильного середовища електростатичним полем

Така структура сформованої мастильної плівки під дією електростатичного поля дає можливість зменшити коефіцієнт тертя та знос поверхонь тертя. Саме це твердження необхідно підтвердити в лабораторній роботі шляхом встановлення залежності швидкості зношування поверхонь тертя від величини напруженості електростатичного поля.

3.4 Необхідна апаратура і матеріали

3.4.1 Мастильний матеріал (моторна олива, гідравлічна олива);

3.4.2 Машина тертя СМТ – 1;

3.4.3 Пристрій для обробки мастильного матеріалу електростатичним полем;

3.4.4 Перетворювач напруги для живлення пристрою (ВС-23);

3.4.5 Гідравлічна станція для формування потоку оливи через пристрій;

3.4.6 Високовольтний вольтметр марки С-96;

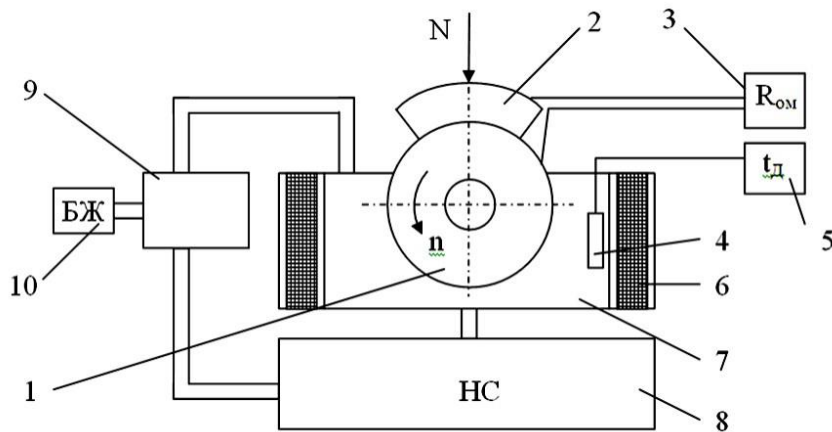
3.4.7 Вольтметр універсальний В7-21А;

3.4.8 Аналітичні ваги ВЛР-200 з похибкою не більше 0,01 г;

3.4.9 Секундомір СДС_{пр.} 1.2.000.

3.5 Будова та принцип роботи приладів

Порівняльні випробування на зношування проводяться на машині тертя СМТ-1, де як досліджуване спряження використовується пара тертя "колодка - ролик". На рисунку 3.5 зображена схема лабораторної установки для проведення зношувальних випробувань з використанням машини тертя.



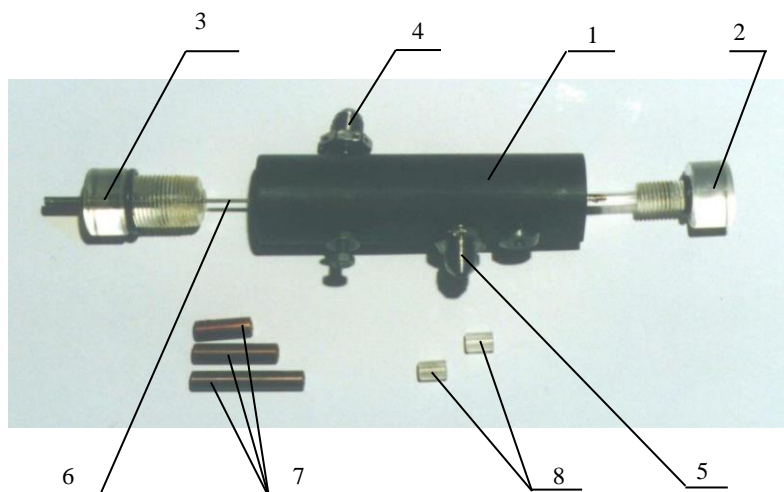
1 – ролик; 2 – колодка; 3 – омметр; 4 – термодатчик;
 5 – терморегулятор; 6 – нагрівальний елемент; 7 – ємність; 8
 – насосна станція; 9 – пристрій для обробки робочої рідини
 (моторної оливи); 10 – блок живлення

Рисунок 3.5 – Схема лабораторної установки для проведення випробувань на знос пари тертя «колодка – ролик» на машині тертя СМТ-1

Лабораторна установка включає в себе зразки, що випробовуються (ролик 1 і колодка 2), омметр 3, термодатчик 4 із терморегулятором 5, нагрівальний елемент 6 в ємності для мастильного матеріалу 7, насосну станцію 8, пристрій для обробки оливи електростатичним полем (ЕП) 9 (рисунок 3.6) з блоком живлення 10.

Частота обертання ролика 1 і зусилля притиснення колодки 2 регулюються і підтримуються елементами управління машини тертя.

Для підтримки постійної заданої температури мастильного матеріалу, що надходить в пару тертя, лабораторна установка оснащена терморегулятором 5, включеним в ланцюг живлення нагрівального елемента 6, при цьому керуючий сигнал виробляється термодатчиком 4.



1 – корпус; 2, 3 – кришка; 4, 5 – штуцер; 6 – внутрішній електрод;
7 – зовнішні електроди; 8 – діелектричні втулки

Рисунок 3.6 – Лабораторний зразок пристрою обробки
мастильних матеріалів електростатичним полем

Насосна станція 8 необхідна для забезпечення циркуляції мастильного матеріалу через пристрій для обробки 9. Для подачі необхідної напруги на пристрій використовується блок живлення (BC-23) 10, його технічні дані наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні дані джерела високої напруги BC-23

1	2
Живлення приладу від мережі: напруга, В частота, Гц	220±10 % 50±0,5
Споживча потужність, Вт	не більше 300
Напруга трьохкіловольтного джерела, В	500...3000
Джерело ізольоване від корпусу і дозволяє з'єднати з корпусом плюс і мінус вихідної напруги	
Напруга десятикіловольтного джерела, В	2000...10000
Максимальний струм навантаження кожного джерела, mA	5
Нестабільність вихідних напруг приладу при вимірюванні напруги мережі на 10 % від номінального значення при незмінному навантаженні, %	не більше 0,5
Пульсації вихідних напруг при максимальному навантаженні, %	не більше 0,5

3.6 Порядок та методика виконання роботи

3.6.1 Вивчити завдання і схему роботи пристроїв.

3.6.2 Перевірити прилади.

3.6.3 Визначити швидкість зносу пар тертя без електростатичної обробки мастильного матеріалу.

Перед проведенням випробувань на знос необхідно вирішити завдання визначення значень контактної тиску і лінійної швидкості в спряженні "колодка – ролик", поєднання яких забезпечувало б граничне змащення випробуваних зразків, оскільки при такому змащенні протікає основний знос поверхонь, а вплив механічних забруднень мінімальний.

З метою визначення точки переходу пари тертя в режим граничного змащення до зразків, після їх електричної ізоляції від «землі», підключити омметр, за допомогою якого визначити електричний опір рухомого контакту зразків. Враховуючи той факт, що гідродинамічний мастильний шар виключає безпосередній контакт поверхонь і є діелектриком, в такому режимі змащення електричний опір рухомого контакту зразків матиме значення більше 1 МОм. При руйнуванні гідродинамічного мастильного шару пара тертя переходить в режим граничного змащення, а опір контакту різко падає і досягає значень 0,2 ... 1 Ом, що відповідає сухому контакту зразків.

У результаті комбінації контактних тисків і швидкостей, а також аналізу електричного опору змащеного контакту зразків встановити значення контактної тиску та швидкості, при яких має місце перехід від граничного змащення пари тертя в гідродинамічне (при тиску 6 МПа перехід в гідродинамічний режим змащення відбувається при досягненні швидкості ковзання значення 0,32 м/с, або при тиску 10 МПа, цей же перехід спостерігається при більшій швидкості, що дорівнює 0,87 м/с). Всі вимірювання проводити за однакової температури мастильного матеріалу в баку гідростанції.

Таким чином, перед проведенням лабораторної роботи встановити значення факторів, які залишатимуться постійними:

- швидкість потоку РР (моторної оливи) в пристрої – 6 м/с;
- температура РР в баку насосної станції – 70 °С (моторної оливи – 90 °С);
- тиск у контакті – 8 МПа;
- лінійна швидкість ковзання ролика – 0,3 м/с.

Швидкість зношування оцінюється за величиною вагового зносу колодки, тобто за допомогою аналітичних ваг ВЛР-200 з похибкою не більше 0,01 г оцінюється втрата ваги колодки в процесі проведення випробувань. Всі випробування колодки та ролика проводяться за однакового часу.

Перед проведенням експериментальних досліджень потрібно визначити мінімально необхідну повторність дослідів, виходячи з умови забезпечення заданої надійності одержуваних результатів.

Для визначення мінімально необхідної повторності дослідів проведемо попередні випробування. Десятикратно виміряти швидкість зношування колодки при температурі РР 70 °С (моторної оливи – 90 °С), контактному тиску 8 МПа і швидкості ковзання ролика 0,3 м/с, всі дані занести до таблиці 3.2. Геометричні розміри та порядок підготовки пари тертя "колодка – ролик" до випробувань підібрати з урахуванням формування необхідних контактних тисків і шорсткості поверхонь тертя.

Після десятикратного вимірювання швидкості зношування колодки визначаємо її середньоарифметичне значення

$$V_{Ucp} = \frac{\sum V_{Ui}}{N}, \quad (3.1)$$

де V_{Ui} – значення швидкості зношування колодки при проведенні i – го вимірювання;

N – кількість вимірювань.

Дані занести до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати випробувань при визначенні величини швидкості зношування колодки

	Порядковий номер виміру										Середнє значення	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Швидкість зношування, МГ/ГОД												

3.6.4 Знайти мінімально необхідну повторність вимірювань.

Знаходимо середньоквадратичне відхилення вимірювань

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (V_{U_i} - V_{U_{cp}})^2}{N-1}}. \quad (3.2)$$

Визначимо мінімально необхідну повторність вимірювань

$$n_{\min} \geq \frac{\sigma^2 \cdot t_{kp}^2}{\Delta^2 \cdot V_{U_{cp}}^2}, \quad (3.3)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення вимірів;
 t_{kp} – табличне значення коефіцієнта Стьюдента;
 $t_{kp} = 1,81$ при надійності результатів $P = 0,9$;
 Δ – допустима відносна похибка вимірювань, $\Delta = 0,1$.

3.6.5 Визначити швидкість зносу пар тертя при обробці мастильного матеріалу електростатичним полем різної напруженості ($0,5 \times 10^6$ В/м; 1×10^6 В/м; $1,5 \times 10^6$ В/м).

Залити випробувану оливу до термостатичного баку з нагрівачем гідравлічної (насосної) станції. Нагріти оливу до відповідної температури (для гідравлічних олив $t = 70^\circ\text{C}$, для моторних – $t = 90^\circ\text{C}$). Увімкнути насос, заміряти витрати оливи через пристрій обробки та визначити швидкість потоку оливи в полі

$$v = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q}{D^2 - d^2}, \quad (3.4)$$

де Q – витрата оливи через пристрій обробки, м³/с;
 D і d – відповідно діаметри зовнішнього та внутрішнього електродів пристрою, м ($D = 4$ мм, $d = 2$ мм).

Відрегулювати необхідну швидкість за допомогою дроселя ($v = 6$ м/с).

Увімкнути джерело живлення пристрою обробки та подати напругу на електроди таку, яка відповідає напруженості поля $0,5 \times 10^6$ В/м, що визначається виразом

$$U = E \cdot r \cdot \ln \frac{R}{r}, \quad (3.5)$$

де R і r – відповідно радіуси зовнішнього та внутрішнього електродів, м;

E – напруженість поля.

При цьому $I \leq 200$ мкА. Потім за відомою методикою визначаємо швидкість зношування пар тертя при обробці оливи електростатичним полем.

Аналогічно оброблюємо оливу електростатичним полем напруженістю 1×10^6 В/м та $1,5 \times 10^6$ В/м, і визначаємо швидкість зношування пар тертя при обробці оливи електростатичним полем за відповідних значень напруженості поля.

Кількість повторень вимірювань повинна відповідати значенню n_{\min} пункт 3.6.4.

Отримані результати вимірювань занести до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Зміна швидкості зношування колодки в залежності від напруженості зовнішнього поля

Значення факторів			Середнє значення швидкості зношування, мг/год
Напруженість поля $\times 10^6$, В/м	Порядковий номер виміру	Швидкість зношування, мг/год	
0	-	-	
0,5	1		
	2		
	...		
1	1		
	2		
	...		
1,5	1		
	2		
	...		

Примітка – середнє значення швидкості зношування без електростатичної обробки мастильного матеріалу (рядок 1 табл. 3.3) перенести з таблиці 3.2.

3.6.6 Побудувати графік залежності швидкості зносу колодки від напруженості електростатичного поля за табличними даними.

3.6.7 Зробити висновки з роботи.

Контрольні запитання

1 Які види взаємодії можуть мати поверхнево-активні речовини в мастильному матеріалі?

2 Чому відповідає діапазон між $ККМ_1$ і $ККМ_2$?

3 Яким чином концентрація присадок в мастильному матеріалі впливає на процес зношування?

4 Чому, з точки зору зносу, абразивні механічні домішки в мастильних матеріалах є найнебезпечніші для роботи трибосполучень?

5 Яку функцію виконують продукти зносу в мастильному середовищі?

6 Як взаємодіють продукти зносу з поверхнево-активними речовинами?

7 Як відбувається формування мастильного шару на поверхнях тертя з урахуванням електростатичної обробки мастильного матеріалу?

8 З чого складається лабораторна установка для проведення випробувань на знос пари тертя?

9 Як визначити точку переходу пари тертя в режим граничного змащення?

10 Як оцінюється швидкість зношування колодки?

11 Яким чином визначити подачу напруги на пристрій обробки, що відповідала б необхідній напруженості поля в пристрої?

Список літератури

1 Лысиков, Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] / Е.Н. Лысиков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин. – Харьков: ЭДЭНА, 2009. – 274 с.

2 Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст] / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун. – М.:Машиностроение, 2003. – 576 с.

3 Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей [Текст] / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.Н. Лысиков и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. - 544 с.

Лабораторна робота 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ ВІД ВОДИ

4.1 Мета роботи

Вивчення процесу зміни розмірів крапель води в оливі при обробці оливи електричним полем високої частоти.

4.2 Зміст та задачі роботи

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно вивчити рекомендовану літературу, зокрема щодо очищення рідин в силових полях, електроповерхневих явищ і електрофільтрування.

Визначити діаметри крапель води в емульсії «вода в оливі» за різної частоти та напруженості зовнішнього електричного поля. Порівняти результати та зробити висновки.

Задачі:

4.2.1 Ознайомитись з конструкцією лабораторної установки для визначення часу освітлення емульсованої оливи.

4.2.2 Визначити діаметри крапель води в емульсії «вода в оливі» в залежності від частоти зовнішнього електричного поля.

4.2.3 Визначити діаметри крапель води в емульсії «вода в оливі» в залежності від напруженості електричного поля при оптимальній частоті електричного поля.

4.2.4 Побудувати графічну залежність діаметрів крапель води в емульсії «вода в оливі» в залежності від зміни напруженості та частоти зовнішнього електричного поля.

4.3 Теоретичні відомості

Підтримка заданої чистоти робочої рідини (РР) є важливим фактором надійності гідропривода. Одним із поширених забруднювачів РР є вода. Така вода може знаходитись у вільному стані, розчиненому (знаходиться в колоїдному стані за рахунок

полярних зв'язків) та емульсована (желеподібний стан), яка не відстоюється та призводить до утворення гідроген-водневих фракцій, корозії металічних елементів гідропривода, окислення РР, підвищення спінювання, та погіршення дії присадок, що у свою чергу веде до пришвидшеного зносу [1].

Найбільш поширеними методами відділення води від нафтових олив є центрифугування, термовакuumне випаровування води, відстоювання, відділення за допомогою адсорбуючих полімерів. Однак ці методи не завжди є ефективними [2], оскільки вони мають або низьку продуктивність, або високу енергоємність та вартість.

РР гідропривода являє собою неполярний діелектрик з відносною діелектричною проникністю 2...3, в якій розчинений сильно полярний діелектрик – вода, діелектрична проникність якої в 40 разів вища. Така суттєва різниця між властивостями РР та води надає підстави для дослідження та розробки електричних методів очищення РР.

При застосуванні електричних методів потрібно проводити дослідження, спрямовані на визначення раціональних параметрів електричного поля, при яких процес видалення води з РР буде максимально ефективним, тобто коли має місце висока продуктивність процесу, висока тонкість очищення та малі енерговитрати.

Об'єднання крапель. Процес укрупнення крапель води в зовнішньому електричному полі досліджувався вітчизняними вченими ще в 50-х – 60-х роках [3,4]. З тих пір він застосовується в нафтопереробній галузі, однак вплив фактора частоти в середовищі оливи не досліджувався.

Головною задачею при очищенні оливи від води є видалення крапель розміром менше 5 мкм. На такі краплі міра дії броунівських сил перевищує дію гравітаційних сил, що унеможливорює їх осідання. В такому випадку, щоб покращити седиментацію води в оливі, необхідно створити умови для об'єднання цих крапель в більш крупні. Якщо для об'єднання крапель необхідний їхній безпосередній контакт, то основною умовою ефективного укрупнення є така:

$$A \geq D - d, \quad (4.1)$$

де A – амплітуда коливань краплі;
 D – відстань між випадковими сусідніми краплями;
 d – діаметр краплі.

Відстань між краплями (рисунок 4.1) залежить від концентрації води в оливі та міри дисперсності. Амплітуда коливань, в свою чергу, – від геометричних розмірів крапель, в'язкості, густини та параметрів зовнішнього електричного поля, а саме, напруженості та частоти.

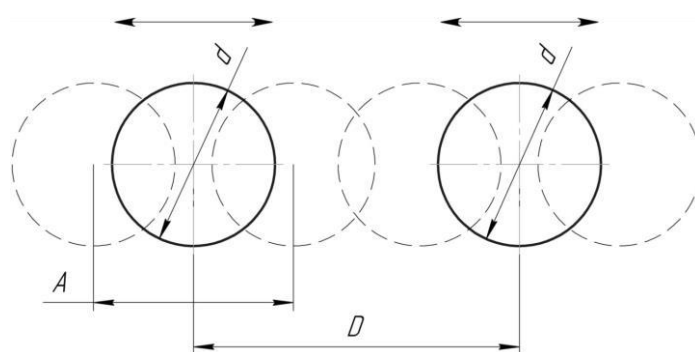


Рисунок 4.1 – Схема руху крапель води розміром менше 5 мкм

Змінюючи параметри зовнішнього поля, можна впливати на частоту та амплітуду коливань мікрокрапель [3, 4], однак для досягнення максимальної продуктивності процесу видалення води з робочих рідин потрібно встановлювати раціональні значення параметрів поля для кожного типу оливи та ступеня початкової дисперсності води.

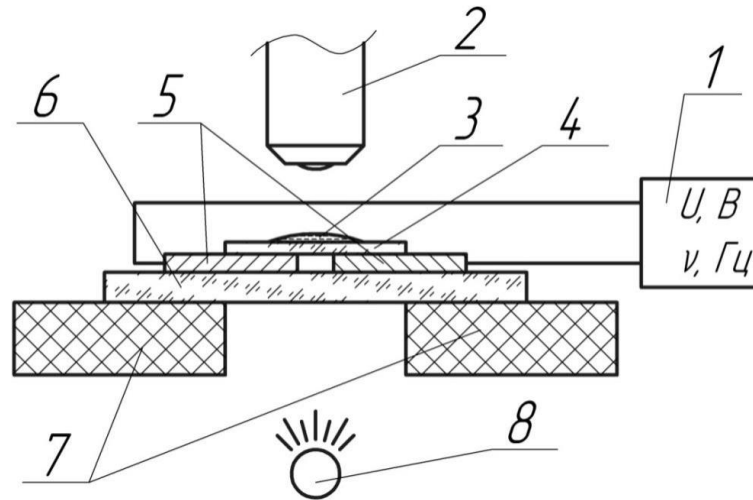
Метою лабораторної роботи є визначення впливу частоти змінного електричного поля на процес коалесценції частинок води в РР.

4.4 Необхідна апаратура і матеріали

- 4.4.1 Генератор змінної напруги;
- 4.4.2 Оптичний мікроскоп МИМ-7;
- 4.4.3 Лабораторне скло;
- 4.4.4 Електроди та провідники;
- 4.4.5 Секундомір СДС_{пр.} 1.2.000.

4.5 Будова та принцип роботи приладів

Для проведення експериментального дослідження щодо впливу зовнішнього електричного поля на процес коалесценції необхідно зібрати спеціальний стенд (рисунк 4.2).



- 1 – генератор частоти; 2 – окуляр мікроскопа; 3 – проба емульсії;
4 – тонке скло; 5 – електроди; 6 – предметне скло;
7 – станина мікроскопа; 8 – джерело світла

Рисунок 4.2 – Принципова схема лабораторної установки з дослідження впливу параметрів зовнішнього електричного поля на процес коалесценції

Базу лабораторної установки становить оптичний мікроскоп МИМ-7, за допомогою якого можна спостерігати за процесом коалесценції в режимі реального часу. Окуляр мікроскопа 2 містить мірну шкалу із ціною поділки 0,02 мм. Кратність об'єктива мікроскопа становить 40 одиниць. До предметного скла 6 клейовим з'єднанням нерухомо закріплено два плоских електроди 5 товщиною 0,4 мм на відстані 1 мм. Досліджуваний об'єм емульсії 3 розміщується на тонкому склі 4. Параметри зовнішнього електричного поля задаються за допомогою нестандартного високочастотного генератора напруги з діапазоном частот 30 Гц – 3 МГц та напругою 0 – 500 В.

4.6 Порядок та методика виконання роботи

Порядок проведення операцій:

4.6.1 Підготувати робоче місце та досліджуваний матеріал до випробування.

4.6.1.1 Підготувати емульсію (10 % води, 90 % оливи И-20 або ін.) шляхом механічного перемішування.

4.6.1.2 Перевірити роботу та справність генератора напруги змінної частоти.

4.6.1.3 Перевірити справність мікроскопа.

6.2 Виконання експерименту

4.6.2.1 Знежирити та просушити лабораторне скло. Встановити його під окуляр. Встановити рівень частоти (30; 300; 3×10^3 ; 3×10^4 ; 3×10^5 ; 1×10^6 ; 2×10^6 ; 3×10^6) та напруги (0; 100; 200; 300; 400; 500 В) на відповідний рівень.

4.6.2.2 Помістити скляною паличкою одну краплю емульсії на робоче скло.

4.6.2.3 Встановити фокус окуляра мікроскопа на досліджуваний матеріал.

4.6.2.4 Виконати замір діаметра найбільших крапель в полі зору окуляра мікроскопа.

4.6.2.5 Ввімкнути генератор частоти. Витримати 1 хв.

4.6.2.6 Виконати 2-4 заміри діаметра найбільших крапель в різних напрямках (рисунок 4.3).

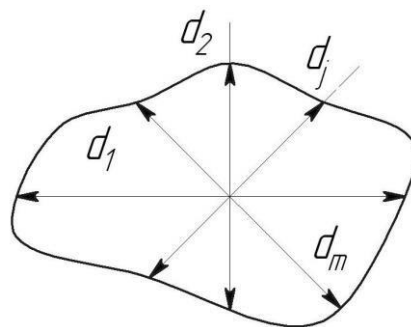


Рисунок 4.3 – Схема вимірювання середнього діаметра краплі води

4.6.2.7 Знайти середній діаметр за формулою

$$d_{cp.i} = \frac{\sum_{j=1}^m d_{ij}}{m} \cdot K, \quad (4.2)$$

де i – номер досліду;

j – номер заміру діаметра;

m – кількість замірів діаметра;

K – масштабний коефіцієнт, $K = 0,02$

4.6.3 Виконати запис до лабораторного протоколу (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Результати вимірювань

Напруга на електродах, В	Діаметри крапель, мм					
	при частотах, Гц					
	30	300	3×10^3	$\times 10^4$	3×10^5	3×10^6
0						
100						
200						
300						
400						
500						

4.6.4 Виконати наступний дослід в порядку згідно з пп. 4.6.2-4.6.3

4.6.5 Побудувати тривимірний графік залежності найбільшого діаметра краплі в залежності від напруженості та частоти електричного поля.

4.6.6 Визначити екстремальні точки графіків, зробити висновки.

Контрольні запитання

- 1 В якому стані може знаходитись вода у робочій рідині?
- 2 До яких негативних наслідків може призвести наявність води в гідросистемі?
- 3 Які методи зазвичай використовуються для очищення робочої рідини від води?
- 4 Чим пояснюється електричний вплив на воду в оливі?
- 5 Як залежить ефективність роботи електроочисника від напруженості та частоти електричного поля?

Список літератури

- 1 John Sander. Water Pollution [Електронний ресурс] / John Sander // Lubrication Engineers International AG – Режим доступу : <http://le-russia.ru/novosti-i-media/zagryaznenie-vodoy>
- 2 Лысыков, Е.Н. Анализ эффективности современных методов очистки жидких смазочных сред на углеводородной основе [Текст] / Е.Н. Лысыков, С.Н. Солонинченко // Зб. наук. праць / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харьков, 2010. – Вип. 115. – С. 117–121.
- 3 Панченков, Г.М. Поведение эмульсий во внешнем электрическом поле [Текст] / Г.М. Панченков, Л.К. Цабек. – М.: Химия, 1969. – 190 с.
- 4 Мартыненко, А.Г. Очистка нефтепродуктов в электрическом поле постоянного тока [Текст] / А.Г. Мартыненко, В.П. Коноплев, Г.П. Ширяева. – М.: Химия, 1974. – 87 с.

Лабораторна робота 5

ОТРИМАННЯ НАНОЧАСТИНОК ВУГЛЕЦЮ ЕЛЕКТРОДУГОВИМ МЕТОДОМ

5.1 Мета роботи

Вивчення процесу отримання наночастинок вуглецю електродуговим методом (ЕДМ).

5.2 Зміст та задачі роботи

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно вивчити рекомендовану літературу, зокрема, з методів отримання наночастинок вуглецю.

Визначити швидкість випаровування графітових стержнів залежно від величини електричного струму, а також від величини тиску гелію у реакторі.

Задачі:

5.2.1 Ознайомитись з конструкцією лабораторного стенда для отримання наночастинок вуглецю ЕДМ.

5.2.2 Визначити швидкість випаровування графітових стержнів залежно від величини електричного струму.

5.2.3 Визначити швидкість випаровування графітових стержнів залежно від тиску гелію у реакторі.

5.2.4 Побудувати графічну залежність швидкості випаровування графітових стержнів залежно від величини електричного струму.

5.2.5 Побудувати графічну залежність швидкості випаровування графітових стержнів залежно від тиску гелію у реакторі.

5.3 Загальні відомості

Проведений огляд та аналіз можливих напрямків використання наночастинок вуглецю для транспортного машинобудування дозволив означити такі основні напрямки:

- створення нових змащувальних матеріалів і присадок;
- створення твердих зносостійких покриттів і антифрикційних матеріалів, легованих наночастинками вуглецю;
- створення нових конструкційних матеріалів.

Нанотрубки та фулерени відрізняються широким розмаїттям корисних фізико-хімічних властивостей [1], які можуть бути використані у транспортному машинобудуванні, що приваблює значну кількість дослідників та вчених. У даній роботі представлені результати розробки пристрою для отримання наночастинок вуглецю електродуговим способом та визначення оптимальних умов створення нанотрубок та фулеренів.

Для реалізації нанотехнологій на залізничному транспорті сьогодні потрібно вести дослідження за такими напрямками:

- розробка методів та засобів отримання наночастинок вуглецю;
- дослідження параметрів та властивостей утриманих наночастинок вуглецю;
- створення наноматеріалів для транспортної галузі із використанням наночастинок вуглецю [2].

На першому етапі слід розробити технологію отримання та дослідження властивостей наночастинок вуглецю. На сьогодні найбільш опрацьованим є перший напрямок, в якому виділяють три методи [3] отримання наночастинок вуглецю: електродуговий, піролізний, лазерний. Незважаючи на інтенсивні світові дослідження в цьому напрямку обсяг досліджень українських вчених особливо в транспортній галузі недостатній.

Метою даної роботи є розробка та дослідження основних характеристик стенда для отримання наночастинок вуглецю електродуговим методом, таких як нанотрубки та фулерени.

На основі аналізу існуючих конструкцій [4] була подана заявка та отриманий патент на винахід нової конструкції пристрою [5] для отримання наночастинок вуглецю електродуговим способом.

5.4 Необхідна апаратура і матеріали:

5.4.1 Графітові стержні для спектрального аналізу.

5.4.2 Стенд лабораторний для отримання наночастинок вуглецю ЕДМ.

5.4.3 Зварювальний пристрій ESST-2.

5.4.4 Секундомір СДС_{пр.} 1.2.000.

5.4.5 Балон з стиснутим гелієм та редуктором тиску.

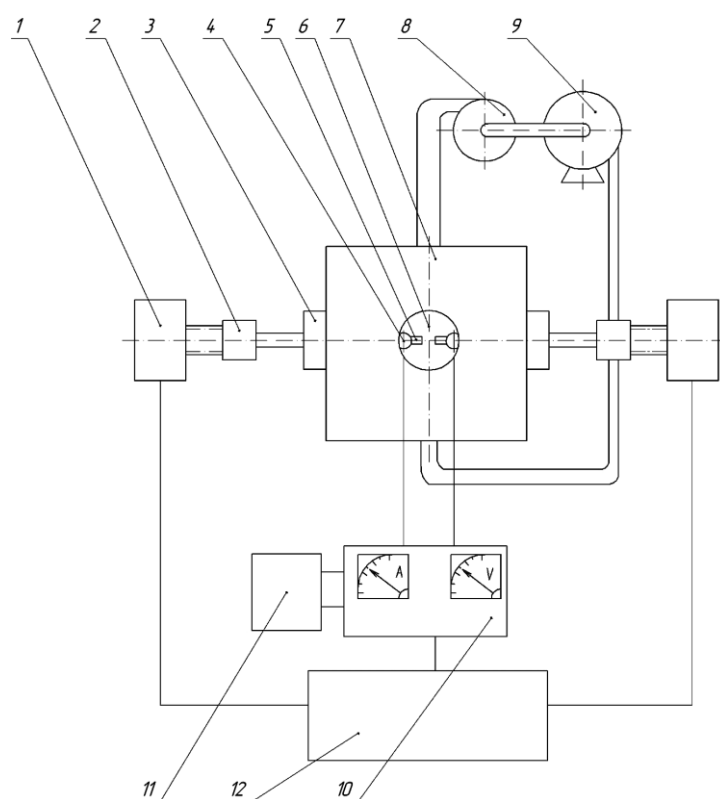
5.5 Будова та принцип роботи приладів

На кафедрі БКВРМ з 2012 року був спроектований та виготовлений пристрій для отримання наночастинок вуглецю електродуговим способом [6] (рисунок 5.1).

Пристрій складається з таких основних вузлів: реактора 7, системи циркуляції гелію 9, системи відділення фулеренової сажі від гелію 8, системи подачі електродів 1, вакуумних ущільнень 3, джерела живлення 11, комутатора 10 та системи керування 12.

Працює даний пристрій у такий спосіб. Графітові електроди 5 вставляються в струмовводи 4 і через електроізолювані муфти під'єднуються до пристроїв подачі електродів 1. Внутрішню порожнину реактора 7 вакуумують, після цього в проточну частину подається гелій, вмикається циркуляційний насос 9. Вмикається джерело живлення 11 та система керування 12. Відповідно до заданої програми мікропроцесор системи керування 12 за допомогою пристроїв подачі електродів 1 виконує зведення електродів до загоряння електричної дуги, за якою ведеться спостереження через вікно 6. У процесі роботи реактора на одному з електродів утворюється вуглецевий депозит, наявність якого заважає роботі пристрою, тому комутатор 10 періодично перемикає полярність струму, що подається на струмовводи 4, відповідно до програми системи керування 12. При роботі пристрою плазма, що утворюється між електродами, випаровує графітові електроди та виноситься потоком гелію разом з фулереновою сажею і наночастиками вуглецю з реактора та осаджується у циклоні 8. Після згоряння двох електродів установка вимикається для перенавантаження електродів та вивантаження фулеренової сажі з циклону 8.

Процес очищення фулеренової сажі та розподілення на складові (графени, нанотрубки, фулерени та вуглецеві частки) виконується за стандартною технологією.

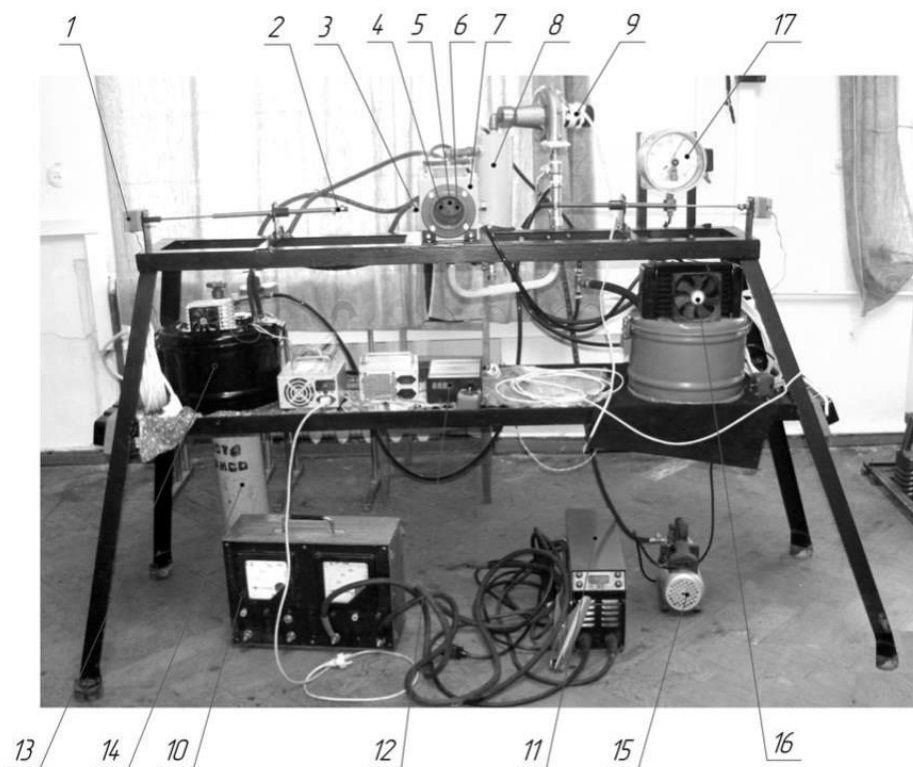


1 - пристрій подачі електрода, 2 - муфта електроізольована, 3 - вакуумне ущільнення, 4 - струмоввід, 5 - електрод, 6 - вікно для спостереження, 7 - реактор, 8 - циклон, 9 - насос циркуляційний, 10 - комутатор, 11 - джерело живлення, 12 - система керування

Рисунок 5.1 – Схема пристрою для отримання наночастинок вуглецю

На рисунку 5.2 показана лабораторна установка для одержання наночастинок вуглецю електродуговим способом, яка реалізує принцип дії схеми на рисунку 5.1. Нумерація позицій на схемі 1 та рисунку 5.2 однакова, але додатково на рисунку 5.2 показана система охолодження струмовводів 13, яка являє собою бак з електронепровідною рідиною, циркуляційний насос та радіатор з вентилятором охолодження, блоком живлення. Також показаний балон з гелієм 14, який забезпечений редукційним

клапаном, регулятором потоку та контрольними манометрами. Вакуумний компресор 15 забезпечує глибину вакууму до мінус 1 кг/см². Система охолодження реактора та циклона 16 являє собою бак з водою, відцентровий циркуляційний насос, радіатор, вентилятор, блок живлення. До складу установки також входить вакуумметр 17.



1 - пристрій подачі електрода, 2 - муфта електроізольована, 3 - вакуумне ущільнення, 4 - струмоввід, 5 - електрод, 6 - вікно для спостереження, 7 - реактор, 8 - циклон, 9 - насос циркуляційний, 10 - комутатор, 11 - джерело живлення, 12 - система керування, 13 - система охолодження струмоводів, 14 - балон з гелієм, 15 - вакуумний компресор, 16 - система охолодження реактора та циклона, 17 - манометр–вакуомер

Рисунок 5.2 – Лабораторна установка для одержання наночастинок вуглецю електродувим способом

Основні характеристики установки:

- напруга на електродах	18-26 В
- струм	10-150 А
- тиск інертного газу	-1000 Торр - +1000 Торр
- швидкість подачі електродів	5 мм /хв
- загальна потужність	4 кВт
- вага	350 кг

Проведені попередні дослідження випаровування електродів показали, що при щільності струму 100 А/см^2 швидкість випаровування складає 10 мм/год по довжині електрода.

Наступним етапом дослідів є встановлення закономірностей впливу щільності струму, тиску інертного газу та інших параметрів на розподіл наночастинок вуглецю у вихідному продукті.

5.6 Порядок проведення лабораторної роботи

5.6.1 Вивчити завдання та схему роботи пристроїв.

5.6.2 Перевірити прилади.

5.6.3 Визначити швидкість випаровування графіту в реакторі за завданням викладача.

Порядок роботи з лабораторним стендом:

1 Підключити лабораторну установку для одержання наночастинок вуглецю електродуговим способом до джерела електричного живлення.

2 За допомогою пульта керування 11 встановити задану викладачем величину струму електричної дуги.

3 Вимкнути вакуумний компресор 15 і відкрити відсічний кран.

4 Встановити величину тиску за допомогою манометра-вакуометра 17.

5 Встановити необхідний режим подачі електродів за допомогою системи керування 12.

6 Вимкнути систему охолодження реактора та циклона 16.

7 Вимкнути систему охолодження струмоводів 13.

8 Вимкнути циркуляційний насос 9.

9 По досягненні заданої величини вакууму в реакторі закрити відсічний кран та вимкнути вакуумний компресор.

10 Відкрити балон з гелієм 14 та встановити заданий тиск інертного газу за допомогою редукційного клапана.

11 Підводити електроди до загоряння електричної дуги, спостерігаючи її положення через вікно для спостереження б. Суворо додержуватись положення електричної дуги точно по центру вікна для спостереження б. У протилежному випадку при переміщенні центра дуги можливо розплавлення струмовводів та вихід з ладу реактора.

12 По закінченні експерименту вимкнути установку в такому порядку, а також занести результати експерименту у таблицю 5.1:

- вимкнути джерело живлення 11;
- вимкнути систему охолодження струмовводів 13;
- вимкнути систему охолодження реактора та циклона 16;
- вимкнути подачу гелію, закрутивши кран на балоні 14;
- вимкнути насос циркуляційний 9;
- знеструмити лабораторну установку.

Таблиця 5.1 – Результати отримання наночастинок вуглецю електродуговим методом

	Порядковий номер виміру										Середнє значення
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Швидкість випаровування, мм/год											

Контрольні запитання

1 Які основні складові стенда для отримання наночастинок вуглецю електродуговим методом?

2 Який принцип дії системи охолодження струмовводів?

3 Який принцип дії системи охолодження реактора та циклона?

4 Для чого призначений комутатор?

5 Для чого призначений вакуумний компресор?

6 Який принцип дії реактора?

7 Для чого призначений циклон?

8 Для чого призначений манометр - вакуометр?

9 Які існують методи для отримання наночастинок вуглецю?

10 Як використовуються наночастинок вуглецю на транспортному машинобудуванні?

11 Які основні характеристики лабораторного стенда для отримання наночастинок вуглецю електродуговим методом?

12 Опишіть принцип дії лабораторного стенда для отримання наночастинок вуглецю електродуговим методом.

Список літератури

- 1 Iijima S Nature (London) 354 56 (1991).
- 2 Лисіков, Є.М. Нанотехнології на залізничному транспорті [Текст]: навч. посібник / Є.М. Лисіков, С.В. Воронін, О.О. Скорик, Д.В. Онопрейчук. - Харків: «ДІСА ПЛЮС», 2013. – 211 с.
- 3 Воронин, С.В. Аналитический обзор технологий получения высокоструктурированных наночастиц углерода [Текст] / С.В. Воронин, А.В. Суранов, А.А. Суранов //Сб. научн трудов ХНУБА. - Харьков: ХОТВ АБУ, 2013. - Вып. 73. - С. 212 - 223.
- 4 Воронін, С.В. Огляд та аналіз конструкцій установок для отримання наночастинок вуглецю електродуговим методом [Текст] / С.В. Воронін, Д.В. Онопрейчук, О.О. Суранов, Д.О. Амінов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ – 2013. - Вип. 141. - С. 253 - 258.
- 5 Пристрій для отримання наночастинок вуглецю електродуговим способом [Текст]: пат. 105616 Україна: МПК С01В 31/02, В82В 3/00 / Воронін С.В., Суранов О.В., Онопрейчук Д.В., Суранов О.О., Суранов Д.О., Стефанов В.О.; заявник УкрДАЗТ. - заявл. 30.09.2013; опубл. 25.05.2014, Бюл. №10. - 9 с.
- 6 Воронін, С.В. Лабораторний стенд для отримання наночастинок вуглецю електродуговим методом [Текст]: доповідь на міжнар. наук. - техн. конф. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (15-17 квітня 2014 р.) / С.В. Воронін, О.О. Суранов, О.В. Суранов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – 2014. - Вип. 143. - С. 267.

