

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра “Будівельні, колійні та
вантажно-розвантажувальні машини”**

**ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ГРАНИЧНОЇ МАСТИЛЬНОЇ
ПЛІВКИ В УМОВАХ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ
НАФТОВИХ ОЛИВ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторної роботи 2
з дисципліни**

«ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ»

Харків 2012

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри "Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини" 16 вересня 2011 р., протокол № 1.

Рекомендуються для студентів спеціальності 7.05050308 "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання" всіх форм навчання.

Укладачі:

доц. С.В. Воронін,

асист. Д.В. Онопрейчук

Рецензент

проф. Є.М. Лисіков

ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ГРАНИЧНОЇ МАСТИЛЬНОЇ
ПЛІВКИ В УМОВАХ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ
НАФТОВИХ ОЛИВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи 2
з дисципліни

«ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ»

Відповідальний за випуск Воронін С.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 19.10.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,5. 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.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методичні вказівки призначені для студентів Української державної академії 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 при самостійній роботі. Завдання, що їх виконують студенти, допоможуть ліпше засвоїти вивчений матеріал і отримати навички в методиці визначення товщини мастильної плівки.

При підготовці до проведення лабораторної роботи студенти повинні:

- уважно вивчити методичні рекомендації;
- ознайомитись із змістом роботи;
- усвідомити її мету та задачі;
- засвоїти правила техніки безпеки при виконанні роботи;
- повторити теоретичний матеріал з 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 приладів;
- методику визначення товщини мастильної плівки та обробки оливи;
- результати розрахунків;
- графіки;
- висновки з роботи.

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

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ГРАНИЧНОЇ МАСТИЛЬНОЇ ПЛІВКИ В УМОВАХ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ НАФТОВИХ ОЛИВ

1 Мета роботи

Дослідження впливу електростатичного поля на товщину граничної мастильної плівки.

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:

- 1) ознайомитись з конструкцією гідростанції, пристрою обробки мастильних матеріалів, приладу вимірювання товщини мастильної плівки;
- 2) визначити товщину мастильної плівки без обробки мастильного середовища електричним полем;
- 3) визначити товщину мастильної плівки при обробці мастильного матеріалу електричним полем різної напруженості;
- 4) побудувати графічну залежність товщини мастильної плівки від напруженості електростатичного поля.

3 Теоретичні відомості

Головною причиною виходу з ладу деталей машин і механізмів є знос, що є наслідком процесу тертя. Запобіжним заходом для 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 змащування. З точки зору зносу трибосполучень найбільш небезпечним є граничний режим змащення. 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 трибо сполучень

$$I = \frac{A \cdot v^{-0,4} \cdot \mu^{-\frac{1}{6}} \cdot P}{l_T \cdot h^2}, \quad (1)$$

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 (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 металевого та неметалевого походження (пісок, пил, притиральні пасти та ін.).

Концентрація багатьох ПАР (присадок) в мастильному матеріалі перевищує значення KKM_1 та KKM_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 зношуванню 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].

Силове 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 1) [2].

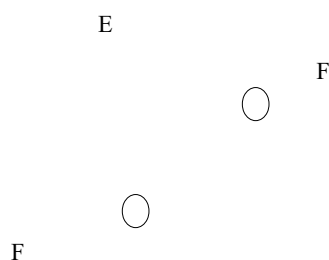
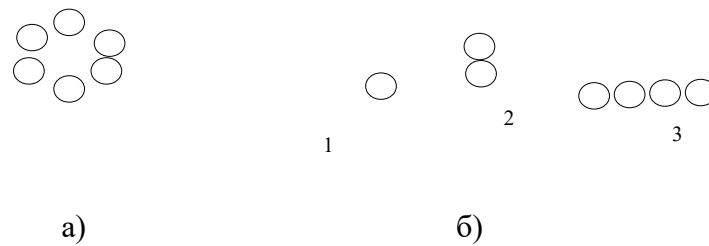


Рисунок 1 – Поляризація молекули ПАР в електричному полі

Міцели, під впливом електростатичного поля на мастильний матеріал, руйнуються з подальшим створенням нових надмолекулярних структур: мономерів (одиначні молекули), димерів (складаються з двох молекул), макродиполів рисунок 2.



а) до впливу полем; *б)* після впливу полем:
 1 – одиначна молекула; 2 – димер; 3 – макродиполь (пакет присадки).

Рисунок 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 дипольний момент 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 (рисунок 3).

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

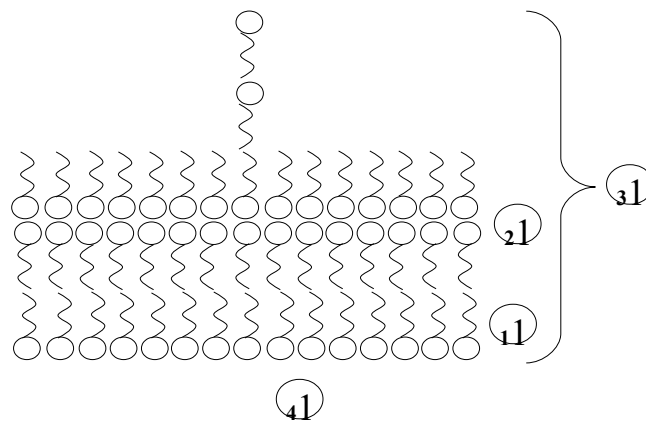
Адсорбційний шар складатимуть молекули присадки. Після обробки робочої рідини вони знаходяться у вигляді мономерів, димерів, “пакетів”. З даних надмолекулярних структур, враховуючи фізичну конкурентну адсорбцію, в першу

чергу адсорбовуватимуться диполі в “пакетному” варіанті, оскільки їх сумарний дипольний момент багаторазово перевищує димерний і мономерний варіант.

1 – молекула ПАР; 2 – молекула базової оливи

Рисунок 3 – Взаємодія молекул ПАР з молекулами базової оливи при накладенні зовнішнього електричного поля

Загальна фізична картина формування мастильної плівки зображена на рисунку 4



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

Рисунок 4 – Структура граничного мастильного шару ПАР

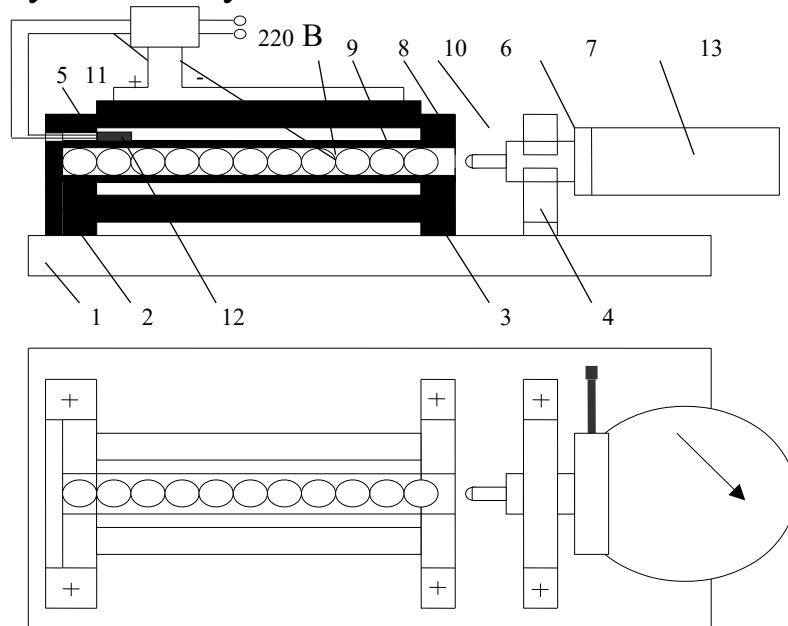
В роботі необхідно визначити товщину квазікристалічного шару, який показаний на рисунку 4.

4 Необхідна апаратура і матеріали

- 4.1 Мастильний матеріал (моторна олива, гідравлічна олива);
- 4.2 Прилад для вимірювання товщини мастильної плівки;
- 4.3 Пристрій для обробки мастильного матеріалу електростатичним полем;
- 4.4 Перетворювач напруги для живлення пристрою (ВС-23);
- 4.5 Гідравлічна станція для формування потоку оливи через пристрій;
- 4.6 Високовольтний вольтметр марки С-96;
- 4.7 Вольтметр універсальний В7-21А;
- 4.8 Секундомір СДС_{пр.} 1.2.000.

5 Будова та принцип роботи приладів

Вимірювання товщини мастильної плівки проводиться за допомогою приладу, схема якого показана на рисунку 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.

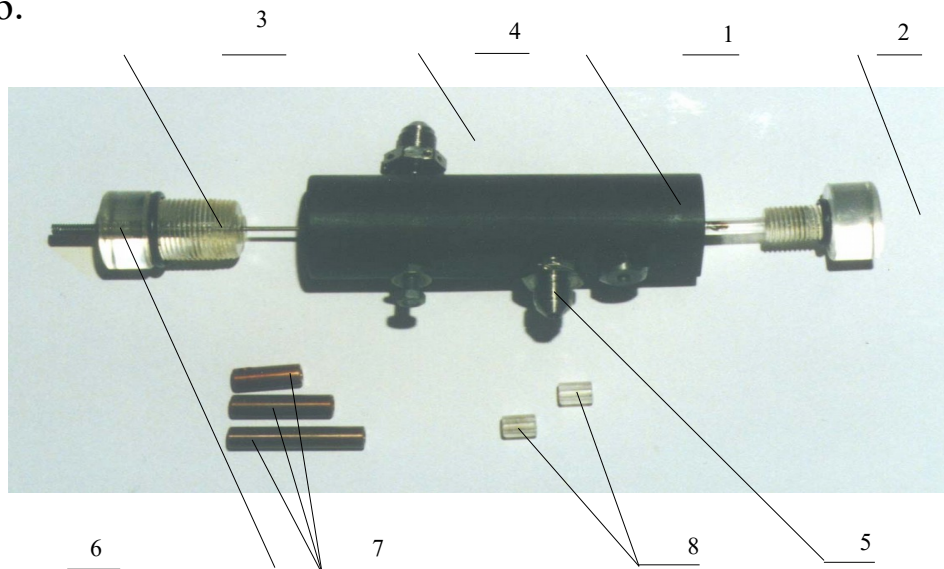


- 1 – плита; 2, 3, 4 – опори; 5, 6, 7 – притискні кришки; 8 – скляна трубка;
9 – кулі; 10 – нагрівач; 11 – регулятор температури; 12 – датчик температури; 13 – мікрометр

Рисунок 5 – Схема приладу для вимірювання товщини мастильної плівки

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.

Для обробки мастильних матеріалів електричним полем (ЕП) використовується лабораторний зразок пристрою з коаксіальним розташуванням електродів, що зображений на рисунку 6.



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

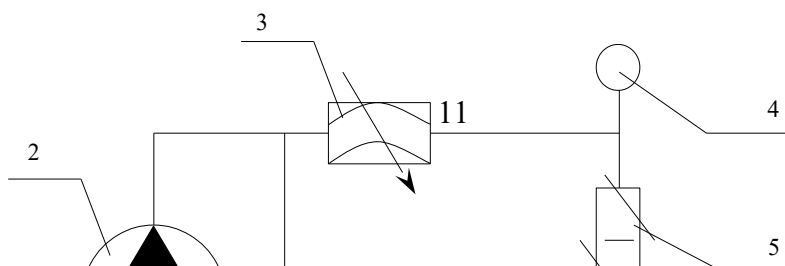
Рисунок 6 – Лабораторний зразок пристрою обробки мастильних матеріалів електростатичним полем

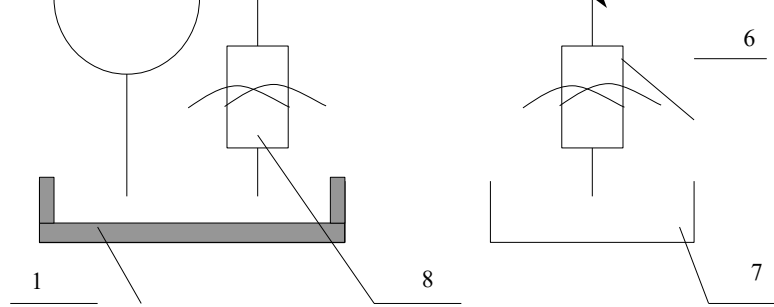
Напруга на електроди пристрою для обробки ЕП подається з джерела високої напруги ВС-23, його технічні дані наведені у таблиці 1. Контроль напруги проводиться за допомогою високовольтного вольтметра С-96, а контроль струму в міжелектродному просторі проводиться за допомогою універсального вольтметра В7-21А.

Таблиця 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 трикіловольтного 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

Формування потоку мастильної речовини через пристрій відбувається за допомогою гідравлічної станції, схема якої наведена на рисунку 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 7 – Схема лабораторної гідростанції

6 Порядок та методика виконання роботи

6.1 Вивчити завдання і схему роботи пристроїв.

6.2 Перевірити прилади.

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

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

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

$$h_{cp} = \frac{\sum h_i}{N}, \quad (3)$$

де h_i – значення товщини плівки при проведенні i -го вимірювання;
 N – кількість вимірювань.

Всі результати вимірювань занести до таблиці 2.

Таблиця 2

	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

$$n = \frac{e}{2 \cdot h_i} - 1, \quad (4)$$

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

6.4 Знайти мінімально необхідну повторність вимірювань.
 Знаходимо середньоквадратичне відхилення вимірювань

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (h_i - h_{cp})^2}{N - 1}}. \quad (5)$$

Визначимо мінімально необхідну повторність вимірювань

$$n_{\min} \geq \frac{\sigma^2 \cdot t_{kp}^2}{\Delta^2 \cdot h_{cp}^2}, \quad (6)$$

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.

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

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

$t = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$). Увімкнути насос, заміряти витрати оливи через пристрій обробки та визначити швидкість потоку оливи в полі

$$v = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q}{D^2 - d^2}, \quad (7)$$

де Q – витрата оливи через пристрій обробки, $\text{м}^3/\text{с}$;

D і d – відповідно діаметри зовнішнього та внутрішнього електродів пристрою, м ($D = 4\text{ мм}$, $d = 2\text{ мм}$).

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

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

$$U = E \cdot r \cdot \ln \frac{R}{r}, \quad (8)$$

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

E – напруженість поля.

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

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

Кількість повторень вимірювань повинна відповідати значенню n_{\min} п. 6.4.

Отриманні результати вимірювань занести до таблиці 3.

Таблиця 3 – Зміна товщини мастильної плівки на поверхні кульок

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

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

6.7 Зробити висновки з роботи.

7 Контрольні запитання

1 Який режим змащення 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 / Е.Н. Лысиков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин. – Харьков: ЭДЭНА, 2009. – 274 с.

2 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.