

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

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

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи 3 з дисципліни

«ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ»

Харків – 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин 26 листопада 2012 р., протокол № 3.

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

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи 3 з дисципліни

«ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ»

Відповідальний за випуск Воронін С.В.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 15.01.13 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,75. Тираж 25. Замовлення №

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

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методичні вказівки призначено 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 дослідження впливу електростатичного поля на протизношувальні властивості моторних олиव та робочих рідин.

При підготовці до проведення лабораторної роботи студенти повинні:

- уважно вивчити методичні рекомендації;
- ознайомитись зі змістом роботи;
- усвідомити її мету та задачі;
- засвоїти правила техніки безпеки при виконанні роботи;
- повторити теоретичний матеріал 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, у який заносить:

- номер, назву, мету та задачі роботи;
- опис дії та схеми приладів;
- методику дослідження впливу електростатичного поля на протизношувальні властивості моторних олив та робочих рідин;
- результати вимірів і 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 3

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

Мета роботи

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

1 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.

Завдання:

- 1) ознайомитися з конструкцією лабораторної установки для проведення зношувальних випробувань на машині тертя СМТ-1;
- 2) визначити швидкість зносу пар тертя без електростатичної обробки мастильного середовища;
- 3) визначити швидкість зносу пар тертя при обробці мастильного матеріалу електростатичним полем різної напруженості;
- 4) побудувати графічну залежність швидкості зносу пар тертя від напруженості електростатичного поля.

2 Теоретичні відомості

У процесі роботи трибосполучень їх поверхні зношуються. Це відбувається тому, що в більшості вузлів тертя технічних систем не вдається забезпечити гідродинамічне тертя. У таких випадках

спостерігається граничне тертя, що призводить до механічного зносу поверхонь трибосистем. Під дією різних факторів, а саме: великі швидкості роботи, контактні навантаження, температура, специфічні умови експлуатації можливе руйнування граничної мастильної плівки, що призводить до задирок, захоплення та руйнування поверхонь тертя.

Для запобігання таких процесів, а також зниження тертя та інтенсивності зносу поверхонь тертя мастильному матеріалу підвищують протизношувальні, протизадирні та інші експлуатаційні характеристики шляхом вводу різних функціональних присадок. При складанні мастильної композиції слід урахувувати всі можливі взаємодії, а саме: 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 перерахованих взаємодій ефективність функціональної дії присадок може збільшуватися (синергетичний ефект) або послаблятися (антагоністичний ефект). Як присадки 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 1.



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

Рисунок 1 – Будова молекули ПАР

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 атома. У 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, ніж поле молекул базової оливи, що дає змогу 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 другого – до інтенсивного агрегування останніх в об'ємі робочої рідини. Утворення надмолекулярних структур (міцел) відбувається лише за достатньої концентрації присадки в базовій оливі.

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 ККМ_1 і ККМ_2 . Перша з них відповідає зазначеному вище визначенню, а друга відповідає концентрації ПАР, вище якої всі молекули перебувають в асоційованому стані. Діапазон між ККМ_1 і ККМ_2 відповідає рівноважному стану між мономерами й міцелами розчиненої речовини, тобто частина ПАР перебуває в асоційованому стані й не бере участі в адсорбційних процесах.

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

U, мг/
год

C, %



Рисунок 2 – Залежність зносу від концентрації присадки

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 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, у результаті чого і зростає знос.

Частинки забруднення (пил та ін.) так, як і металеві частинки зносу чи забруднення, взаємодіють з молекулами ПАР, оскільки вони мають гідрофільно-гідрофобні властивості. Рухаючись у мастильному середовищі, вони здатні набувати внаслідок тертя статичний електричний заряд. 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 кулі, то на її поверхні напруженість поля буде збільшеною порівняно із зовнішнім полем (рисунок 3). Під впливом утвореного локального зовнішнього поля навколо продуктів зносу дипольні моменти молекул ПАР набувають

його напрямку, а оскільки частинка зносу – метал, то молекули ПАР адсорбуються на такій поверхні із 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 [3].

1 – продукт зносу; 2 – полімолекулярний шар ПАР

Рисунок 3 – Продукт зносу, вкритий полімолекулярним шаром ПАР

Особливістю таких частинок є виконання ними функцій, пов'язаних зі “збором” молекул ПАР, що містяться навколо них у базовій оливі, тобто частинка виступає в ролі концентратора молекул ПАР. Але розподіл молекул 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 4.

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 установлення залежності швидкості зношування поверхонь тертя від величини напруженості електростатичного поля.



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

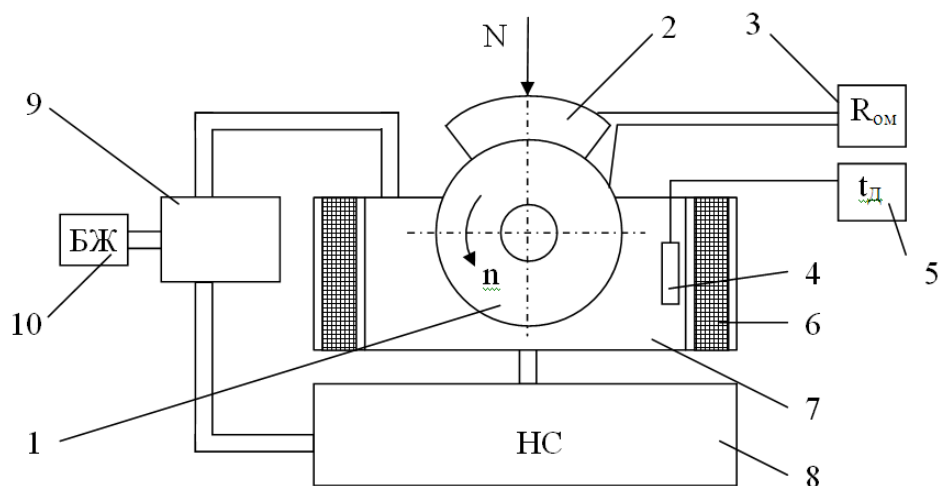
Рисунок 4 – Структура мастильної плівки після обробки мастильного середовища електростатичним полем

3 Необхідна апаратура і матеріали

- 1) мастильний матеріал (моторна олива, гідравлічна олива);
- 2) машина тертя СМТ – 1;
- 3) пристрій для обробки мастильного матеріалу електростатичним полем;
- 4) перетворювач напруги для живлення пристрою (ВС-23);
- 5) гідравлічна станція для формування потоку оливи через пристрій;
- 6) високовольтний вольтметр марки С-96;
- 7) вольтметр універсальний В7-21А;
- 8) аналітичні ваги ВЛР-200 з похибкою не більше 0,01 г;
- 9) секундомір СДС_{пр.} 1.2.000.

4 Будова та принцип роботи приладів

Порівняльні випробування на зношування проводяться на машині тертя СМТ-1, де як досліджуване сполучення використовується пара тертя "колодка - ролик". На рисунку 5 зображена схема лабораторної установки для проведення зношувальних випробувань з використанням машини тертя.



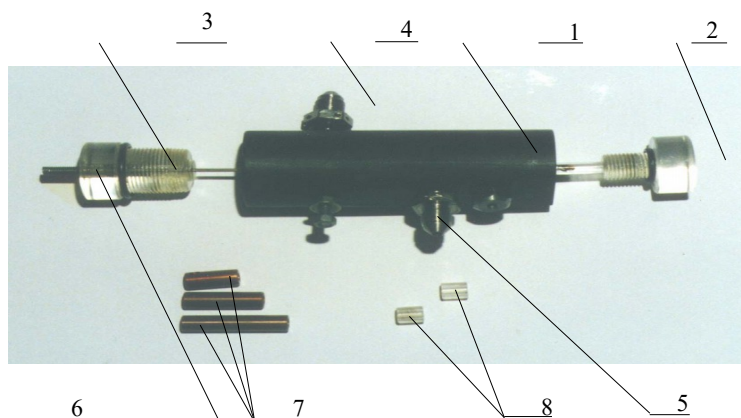
1 – ролик; 2 – колодка; 3 – омметр; 4 – термодатчик; 5 – терморегулятор;
6 – нагрівальний елемент; 7 – ємність; 8 – насосна станція; 9 – пристрій для
обробки робочої рідини (моторної оливи); 10 – блок живлення

Рисунок 5 – Схема лабораторної установки для проведення випробувань на знос пари тертя «колодка – ролик» на машині тертя СМТ-1

Лабораторна установка містить у собі 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 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 у пару тертя, лабораторна установка оснащена терморегулятором 5, включеним у 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 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 (ВС-23) 10, його технічні дані наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні дані джерела високої напруги ВС-23

Параметр	Показники
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 дає змогу 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

5 Порядок та методика виконання роботи

5.1 Вивчити завдання і схему роботи пристроїв.

5.2 Перевірити прилади.

5.3 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 сполученні "колодка – ролик", поєднання яких забезпечувало б граничне змащення зразків, що випробовуються, оскільки при такому змащенні протікає основний знос поверхонь, а вплив механічних забруднень мінімальний.

Для 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. Ураховуючи той факт, що гідродинамічний мастильний шар виключає безпосередній контакт поверхонь і є діелектриком, у такому режимі змащення електричний опір рухомого контакту зразків матиме значення більше 1 МОм. При руйнуванні гідродинамічного мастильного шару пара тертя переходить у 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 установити значення контактної тиску та швидкості, при яких відбувається перехід від граничного змащення пари тертя в гідродинамічне (при тиску 6 МПа перехід у 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). Усі 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. Усі 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 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

$$V_{U_{cp}} = \frac{\sum V_{U_i}}{N} \quad (1)$$

де V_{U_i} – значення швидкості зношування колодки при проведенні i – го вимірювання;
 N – кількість вимірювань.

Дані занести до таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати випробувань при визначенні величини швидкості зношування колодки

Параметр	Порядковий номер виміру										Середнє значення
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Швидкість зношування, мг/год											

5.4 Знайти мінімально необхідну повторність вимірювань.

Знаходимо середньоквадратичне відхилення вимірювань

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

Визначимо мінімально необхідну повторність вимірювань

$$n_{\min} \geq \frac{\sigma^2 \cdot t_{kp}^2}{\Delta^2 \cdot V_{U_{cp}}^2} \quad (3)$$

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, $\Delta = 0,1$.

5.5 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 оливу, що випробовується, до термостатичного бака з нагрівачем гідравлічної (насосної) станції. Нагріти оливу до відповідної температури (для гідравлічних олив $t = 7$ °С, для моторних – $t = 90$ °С). Увімкнути насос, заміряти витрати оливи через пристрій обробки та визначити швидкість потоку оливи в полі

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

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

$$U = E \cdot r \cdot \ln \frac{R}{r}, \quad (5)$$

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 6.4.

Отриманні результати вимірювань занести до таблиці 3.

Таблиця 3 – Зміна швидкості зношування колодки в залежності від напруженості зовнішнього поля

Значення фактора			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 таблиці 3) перенести з таблиці 2.*

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

5.7 Зробити висновки з роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

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

2 Чому відповідає діапазон між KKM_1 і KKM_2 ?

3 Яким чином концентрація присадок у 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 можна 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 / 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) / Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. - М.: Машиностроение, 2003. - 576 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.

