

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Бабенко Андрій Олександрович

УДК 621.651

**ДІАГНОСТУВАННЯ ЗНОСУ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПО ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ
ЗМАЩУВАЛЬНОГО МАСТИЛА**

Спеціальність 05.02.02 - Машинознавство

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківській державній академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,

Венцель Євген Сергійович,

Харківська державна академія залізничного транспорту
Міністерства транспорту України, завідувач кафедри
будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних
машин.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,

Сніговський Федір Павлович,

Херсонський державний педагогічний університет
Міністерства освіти і науки України, професор кафедри
професійного навчання;

кандидат технічних наук, доцент,

Чайка Анатолій Іванович,

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.
Жуковського "Харківський авіаційний інститут"
Міністерства освіти та науки України, доцент кафедри
теоретичної та технічної механіки.

Провідна установа: Одеський національний політехнічний університет
Міністерства освіти та науки України, м. Одеса

Захист відбудеться " ____ " _____ 2002 року о _____ годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.10 у Національному технічному
університеті "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки
України за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного
технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2002 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Бортовой В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток машинобудування є одним з
найважливіших складників технічного прогресу України. У зв'язку з тим, що
щорічно створюються нові типи машин, розробляються нові технології,

виникає необхідність підвищення надійності, насамперед, довговічності деталей машин (ДМ) загального призначення, до котрих відносяться зубчаті, ланцюгові передачі, підшипники ковзання, кочення, муфти та інше.

Конструкції машин постійно удосконалюються відповідно до нових вимог, які до них пред'являються. Однією з основних вимог при експлуатації машин є підвищення їх надійності, що може бути забезпечено зниженням зносу деталей, а отже, підвищенням їх довговічності. При цьому важливого значення набуває технічне діагностування стану ДМ, яке дозволяє судити про ступінь їх зношеності, отже, про довговічність. Діагностування (особливо безрозбірне) за безпечує значну економію матеріальних коштів та часу на підтримку машин в технічно справному стані завдяки зниженню їх простою при технічному обслуговуванні та ремонті, витрат на запасні частини та паливно-мастильні матеріали.

По мірі розвитку та застосування методів та засобів діагностування необхідність відповідних операцій обслуговування та ремонту визначається на основі обліку індивідуальних властивостей стану ДМ та машин в цілому. Завдяки цьому вважається доцільним перехід від існуючої системи ППР по напрацюванню до системи ППР по фактичному технічному стану.

На величину зносу ДМ (особливо при роботі в нестационарних умовах) чинять вплив різноманітні фактори, насамперед, навантаження, швидкісний режим, властивості змащувального мастила тощо. При цьому велике значення має наявність в мастилі частинок зносу, які призводять до інтенсивного абразивного та гідроабразивного зношування, що обмежує довговічність ДМ. Однак слід очікувати, що наявність в мастилі частинок зносу може бути діагностичним параметром процесу зношування ДМ. Це зв'язано з тим, що ці частинки впливають на електричну провідність мастила, яка може бути діагностичним критерієм його якості. Однак до теперішнього часу в літературі практично відсутні теоретичні та експериментальні дані про зв'язок електропровідності мастила з зносом ДМ.

Виходячи з вищенаведеного, є доцільним установити цей взаємозв'язок та на його основі виробити концепцію, яка буде забезпечувати діагностування зносу та довговічності ДМ.

Зв'язок із науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри "Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини" Харківської державної академії залізничного транспорту по пріоритетному напрямку науки та техніки "Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології" (програма "Підвищення надійності та довговічності машин і конструкцій" наведена у Постанові Верховної Ради України №2705 від 16.10.92 з подальшими доповненнями).

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності роботи ДМ шляхом діагностування їх зносу та довговічності по електропровідності змащувального мастила.

Об'єкт дослідження – електропровідність мастила як діагностичний фактор зносостійкості та довговічності ДМ.

Предмет дослідження – деталі машин загального призначення.

Методи дослідження. В процесі вивчення стану питання в напрямку досліджень, які стосуються цієї дисертації, використовувався метод аналізу, при теоретичних дослідженнях – аналітичний метод, який базується на фундаментальних положеннях фізики та теорії зносу; при лабораторних та експлуатаційних дослідженнях – експериментальні методи з застосуванням сучасних методик та математичної статистики.

Для досягнення поставленої мети треба було вирішити такі задачі:

1. Встановити та експериментально підтвердити аналітичний взаємозв'язок між інтенсивністю зношування ДМ та електропровідністю мастильної плівки.

2. Вибрати метод та розробити методику визначення електропровідності змащувального мастила.

3. Встановити закономірності зміни електропровідності змащувального мастила в залежності від ступеня його відпрацьованості і інтенсивності зношування ДМ в лабораторних та експлуатаційних умовах досліджень.

4. Встановити максимально допустимі строки служби змащувального мастила, які забезпечують мінімальне значення інтенсивності зношування ДМ.

5. На основі отриманих результатів досліджень розробити практичні рекомендації по діагностуванню зносу і довговічності ДМ та визначенню строків служби мастил у зв'язку з їх електропровідністю.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблена та експериментально підтверджена математична залежність між інтенсивністю зношування ДМ та електропровідністю змащувального мастила, отримані закономірності її зміни, на основі чого запропонована методика діагностування зносу і довговічності ДМ та визначення строків служби змащувальних мастил, які забезпечують мінімальне значення інтенсивності зношування.

Достовірність отриманих результатів підтверджується застосуванням при дослідженнях фундаментальних положень фізики, теорії зносу, використанням сучасних методів і методик досліджень, задовільною кореляцією результатів теоретичних та експериментальних досліджень, застосуванням ПЕОМ для статистичної обробки отриманих результатів.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати досліджень дозволяють забезпечити підвищення ефективності роботи машин за рахунок діагностування зносу і довговічності їх деталей та більш ефективно використовувати змащувальні матеріали.

Метод визначення електропровідності мастил планується до впровадження в локомотивному депо "Жовтень" Південної залізниці з метою за безпечення діагностування зносу і довговічності моторно-осьових підшипників ковзання (ПК) електровозів, а також раціонального застосування мастил, що їх змащують.

Основні положення дисертації внесені в учбовий процес кафедри “Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини” та Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Харківської державної академії залізничного транспорту.

Крім того, електропровідність мастила внесена в якості діагностувального показника стану вузлів тертя та якості змащувальних матеріалів в проект інструкції по застосуванню на локомотивах і моторвагонному рухомому складі підприємств Укрзалізниці.

Особистий внесок здобувача при виконанні роботи:

1. Запропоновано та експериментально підтверджено математичний взаємозв'язок між інтенсивністю зношування ДМ та електропровідністю змащувального мастила;

2. Розроблені методики та проведені експериментальні випробування в лабораторних і експлуатаційних умовах, оброблені (в тому числі на ПЕОМ) та проаналізовані отримані результати, на підставі яких зроблені відповідні висновки по роботі, запропоновані практичні рекомендації щодо діагностування зносу і довговічності та визначення електропровідності мастил в умовах експлуатації машин.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались й обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми створення нових машин та технологій” (м. Кременчук, Кременчуцький державний політехнічний університет, 2000 р.), на 60-63-ій науково-технічних конференціях Харківської державної академії залізничного транспорту (ХарДАЗТ) (1998...2001 р.р.), на об'єднаному науковому семінарі кафедр “Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини”, “Експлуатація та ремонт рухомого складу” та “Механіка та проектування машин” (ХарДАЗТ) (2001 р.) та на розширеному науковому семінарі кафедри “Деталі машин та прикладна механіка” Національного технічного університету “ХПІ” (2001 р.)

Публікації. По результатах досліджень надруковано сім наукових праць в фахових виданнях, перелік яких затверджений ВАКом України.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Повний обсяг дисертації – 149 сторінок, 15 рисунків на 10 сторінках, 27 рисунків по тексту, 5 таблиць на 5 сторінках, 7 таблиць по тексту, 7 додатків на 19 сторінках, 122 найменування використаних літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність та наукова новизна теми дисертаційної роботи, її практичне значення, сформульовано мету та задачі дослідження.

У першому розділі проведено аналіз особливостей роботи ДМ, у тому числі широко розповсюджених у реальних конструкціях машин і значно

навантажених та коштовних ПК, які значний час працюють при нестационарних режимах.

Від якості змащувального мастила залежить, як відомо, довговічність роботи ДМ, тому до мастил пред'являють жорсткі вимоги. Найбільш пріоритетною умовою роботи ДМ є гідродинамічний режим змазування, при якому шар мастила повністю розділяє поверхні тертя. Але в реальних умовах роботи ДМ неминучі порушення гідродинамічного режиму змащування (при пуску, при різких коливаннях навантаження та попадання до зазору частинок забруднень, розмір яких перевищує товщину гідродинамічної макроплівки). Відхилення валу ПК від заданої геометричної форми, викликані неточностями при виготовленні або складанні, прогин валу під впливом навантаження також можуть викликати порушення гідродинамічного режиму. Тоді має місце напіврідинне або граничне змазування. В останньому випадку поверхні, які труться, розділені тонким шаром змащувального мастила за рахунок адсорбції поверхнево-активних речовин, які утворюються під час окислення мастила. Інтенсивність зношування при цьому вище порівняно з гідродинамічним режимом, завдяки чому у мастилi досить інтенсивно накопичуються частинки зносу. Ці частинки впливають на електропровідність мастила, але до теперішнього часу в літературі практично відсутні теоретичні та експериментальні дані щодо безпосереднього взаємозв'язку між цим параметром мастила та інтенсивністю зношування поверхонь ДМ.

У другому розділі розглянутий теоретичний взаємозв'язок інтенсивності зношування ДМ з електропровідністю мастила.

Для визначення цього взаємозв'язку було використано відоме рівняння Друде-Лоренца для оцінки електропровідності σ рідинних діелектриків

$$\sigma = \frac{n_0 q^2 \tau}{m_0} \quad (1)$$

де n_0 – концентрація носія заряду; q – заряд носія; m_0 – маса носія заряду; τ – час вільного пробігу носія заряду.

Урахування в'язкості рідини дозволяє записати це рівняння у вигляді

$$\sigma = \frac{n_0 q^2 \tau}{m_0} \cdot \frac{1}{1 + \tau \omega} \quad (2)$$

де a_0 – середній лінійний розмір носія заряду; η – динамічна в'язкість рідини.

З рівняння (2) випливає, що добуток електропровідності на в'язкість має вигляд

$$\sigma \cdot \eta = \frac{n_0 q^2 \tau}{m_0} \cdot \frac{1}{1 + \tau \omega} \cdot \eta \quad (3)$$

Як видно з рівняння (3), добуток $\sigma \cdot \eta$ не залежить від температури, тому що величини, які знаходяться в правій частині цього рівняння, не залежать від неї.

В більшості випадків температурна залежність питомої провідності рідинних діелектриків може бути виражена формулою

$$\sigma = A e^{-C/T} \quad (4)$$

а в'язкість рідини залежить від температури згідно з формулою

$$\eta = d e^{-W/kT} \quad (5)$$

де A та d – константи, що характеризують дану рідину; T – температура; C – слабозалежна від температури константа для даної рідини; W – енергія активації; k – стала Больцмана.

Якщо розглянути добуток $\sigma \cdot \eta$ з урахуванням (4) та (5), то можна зробити висновок, що він не залежить від температури лише при умові $C = W$. Тобто в загальному випадку добуток $\sigma \cdot \eta$ має бути функцією температури.

Величина електричного заряду q , який несуть на собі мілкодисперсні частинки зносу, є функцією розміру a_0 частинок. В деяких літературних джерелах йдеться про лінійну або монотонно зростаючу залежність між цими величинами. Наприклад, С.С. Воюцький наводить таку аналітичну залежність між ними:

$$q = \epsilon \cdot \Phi_0 \cdot \delta \cdot a_0 \quad (6)$$

де ϵ - діелектрична проникливість середовища; δ - величина подвійного електричного шару; Φ_0 – потенціал виходу матеріалу частинок.

Ця формула слухна лише при умові $a_0 \ll \delta$, яка виконується далеко не завжди, бо при зростанні розміру a_0 частинок величина q також зростає, в той час, як реально крупні частинки є електронейтральними. Альтернативою (6) є такий вираз:

$$q = \lambda \cdot \epsilon_0 \cdot a_0 \quad (7)$$

де λ – радіус дебаївського екранування; ϵ_0 – діелектрична стала.

При цьому, якщо $a_0 \rightarrow \infty$, то заряд $q \rightarrow 0$.

З урахуванням екранування електричний потенціал, що утворюється навкруги зарядженої частинки на відстані r , дорівнює

$$\phi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (8)$$

де r – відстань, на якій відбувається екранування.

Через те що поле зарядженої частинки екранується за рахунок частинок протилежного знаку, які накопичуються навкруги неї, відстань, на якій відбувається екранування, називається, як відомо, радіусом дебаївського екранування λ , і величина його дорівнює

(9)

Підставляючи усі відомі значення у (9), отримуємо чисельними методами вираз для визначення радіусу дебаєвського екранування у вигляді:

(10)

Час вільного пробігу броунівських частинок можна оцінити за формулою

(11)

де ν - середня арифметична швидкість теплового руху частинок.

Підставляючи це значення τ з урахуванням рівняння (10) у формулу (1) та зробивши відповідні перетворення, отримаємо:

(12)

де ρ - густина матеріалу частинок зносу.

Внаслідок чисельного рішення було знайдено, що співвідношення

дуже слабо змінюється та набуває значення . Так як , то рівняння (12) набуває вигляду:

(13)

Слід мати на увазі, що в повну провідність мастила з частинками забруднень дає внесок й провідність самого мастила, величина якої має відомий вигляд

(14)

де σ_0 – питома електропровідність чистого мастила при $t=0$ °C; b – константа.

Ця формула може бути застосована лише за умови $t \geq 0$ °C. Тоді у відповідності з правилом Матіссена повна провідність середовища буде дорівнювати сумі електропровідностей окремих її компонентів, тобто

(15)

Розглянемо тепер взаємозв'язок між електропровідністю мастила та інтенсивністю зношування вузла тертя, в якому знаходиться мастило. При цьому будемо виходити з визначення питомої інтенсивності зношування i_n

(16)

де ΔV – об'єм матеріалу, вилученого з фактичної площини Ω контакту;
 d – середній діаметр плями контакту.

Беручи до уваги схему спряження поверхонь (наведена у дисертації),
 рівняння для питомої інтенсивності зношування набуває вигляду:

(17)

де H – величина зазору між поверхнями тертя.

Підставляючи рівняння (13) – (17) у (12), отримаємо остаточне рівняння,
 яке з'єднує електропровідність мастила з інтенсивністю зношування та деякими
 іншими параметрами поверхонь тертя:

(18)

Виходячи з рівняння (18), можна зробити висновок, що
 електропровідність мастила σ прямо пропорційна його діелектричній
 проникливості, квадратному кореню із питомої інтенсивності зношування та
 діаметра плями контакту, а також зворотно пропорційна квадрату середнього
 розміру частинок, квадратному кореню із густини їх матеріалу, а також
 величини зазору.

У третьому розділі наведені методика та результати лабораторних
 випробувань.

Для визначення значення електропровідності мастила застосовувався
 лабораторний переносний тераомметр типу МОМ-4 і свіжі та на 100%
 відпрацьовані такі мастила: індустриальне І-Г-А-32, осьове Л та моторне М-12-Г
 1. Свіжі та відпрацьовані мастила (однієї марки) змішувались у пропорціях, які
 наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Склад мастила в суміші, %

Номер суміші	свіже	відпрацьоване
1	100	0
2	80	20
3	60	40
4	40	60
5	20	80
6	0	100

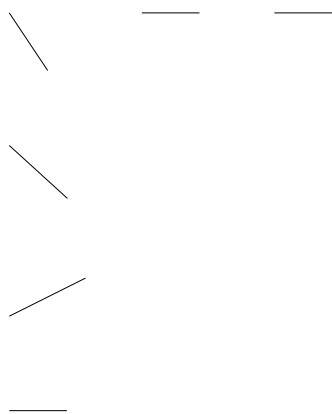
Кожна з наведених в табл. 1 сумішей мастила піддавалась визначенню
 електропровідності при температурах 20 °С, 40 °С, 60 °С, 80 °С по три рази для
 кожної суміші та для кожної температури.

Як показали дослідження, електропровідність σ досліджуваних мастил по мірі зростання ступеня відпрацьованості S збільшується за параболічним законом при усіх температурах визначення.

На рис. 1 у якості прикладу показані відповідні графіки для всіх мастил при $t = 20$ °С.

Підвищення електропровідності по мірі зростання ступеня відпрацьованості мастил обумовлене адекватним збільшенням в них забрудненості частками зносу (за результатами відповідних аналізів, які наведені у дисертації). При цьому по мірі збільшення електропровідності мастила розташовуються у такий ряд: індустріальне І-Г-А-32, осьове Л та моторне М-12-Г₁. Саме у такий же послідовності розташовуються мастила по концентрації частинок зносу.

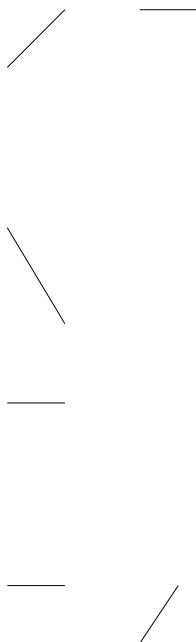
Також слід відмітити, що із зростанням температури t_m мастил їх електропровідність σ експоненціально зростає (рис. 2)¹, що повністю відповідає рівнянню (18).



Виходячи з рівняння (2), температурна залежність електропровідності σ мастильної плівки повністю обумовлена температурною залежністю в'язкості η , тобто добуток $\sigma \cdot \eta$, як це слідує з рівняння (3), не повинен залежати від температури. Для підтвердження цього була визначена в'язкість при різноманітних температурах домішок №4 (табл. 1) усіх марок мастил, після чого було розраховано добуток $\sigma \cdot \eta$ та побудовані відповідні графіки $\eta \cdot \sigma = f(t_M)$ (рис. 3). З цих графіків слідує, що для мастил спостерігається експоненціальне збільшення $\sigma \cdot \eta$ зі зростанням температури, що суперечить рівнянням (2) та (3). В той же час експериментальні дані, які представляють температурну залежність електропровідності, узгоджуються з рівнянням (18), у відповідності з яким σ зростає із збільшенням температури за експоненціальним законом. Крім того, згідно з рівнянням (12), на основі якого отриманий вираз (18), з зростанням температури збільшується величина радіусу дебаєвського екранування, а отже, й заряду частинок, що також призводить до зростання електропровідності.

Одночасно з експериментальних даних слідує, що електропровідність зростає із зростанням концентрації частинок зносу за законом, близьким до дрібно-ступенневого з показником ступеня, менш ніж одиниця, що узгоджується з рівнянням (12).

Лабораторні випробування по визначенню зносу в залежності від електропровідності мастил з різноманітним ступенем відпрацьованості (табл.1) проводились на машинах 2070 СМТ-1 та СМЦ-2.



На машині 2070 СМТ-1 застосовувалась чотирикулькова схема випробувань, яка забезпечує контакт зразків по точці. Така схема випробувань імітує роботу вищих кінематичних пар (підшипників кочення, зубчатих передач тощо) при нестационарному режимі, при якому мікровиступи поверхонь контактують по обмеженій площині фактичного контакту. Випробування на машині СМЦ-2 проводились за схемою “колодка -ролик”, яка імітує умови роботи нижчих кінематичних пар, тобто ДМ, які контактують по поверхні (наприклад, ПК).

Дані за результатами цих випробувань показали, що по мірі збільшення ступеня відпрацьованості S всіх марок мастил збільшується знос зразків. При цьому діаметр плями зносу на машині 2070 СМТ-1 зростає лінійно, а знос зразків на машині СМЦ-2 – за параболічною залежністю, тобто аналогічно зміні електропровідності мастил, що можна пояснити адекватним генеруванням до мастила частинок зносу.

Монотонність зростання зносу по мірі підвищення ступеня відпрацьованості S мастил порушується при випробуваннях на обох машинах тоді, коли величина S досягає деякого критичного значення, після чого знос різко зростає (в якості прикладу на рис. 4 наведені результати випробувань індустріального мастила І-Г-А-32).



Рис. 4. Залежність від ступеня відпрацьованості мастила І-Г-А-32 діаметра плями зносу (а), сумарного зносу (б) зразків та електропровідності (в) після випробувань, відповідно, на машинах 2070 СМТ-1 та СМЦ-2.

Таке різке збільшення електропровідності σ обумовлено значним зростанням вмісту в усіх мастилах частинок зносу, які додатково з'явилися в процесі випробувань на машині тертя СМЦ-2 за рахунок зносу зразків (табл. 2).

Таблиця 2

Концентрація в мастилах частинок зносу (по масі)
після випробувань на машині СМЦ-2

Марка мастила	Концентрація механічних домішок, %	
Індустріальне І-Г-А-32	0,1126 (S=83%)	0,2648 (S=100%)
Осьове Л	0,1637 (S=87%)	0,4965 (S=100%)
Моторне М-12-Г ₁	1,268 (S=95%)	1,8572 (S=100%)

В четвертому розділі наведені приклади реалізації діагностування зносу і довговічності ДМ по електропровідності змащувального мастила.

Проводились випробування в реальних умовах експлуатації двох моторно-осьових ПК тягового двигуна електровоза ВЛ-11, двох гідроприводів плоскошліфувальних верстатів ЗБ722 та двигуна автомобіля ВА3-2106. Ці об'єкти були вибрані тому, що в їх складі є значна кількість вузлів тертя, що конструктивно представляють собою ДМ загального призначення.

Як показали результати експлуатаційних випробувань, по мірі монотонного зростання в мастилах концентрації механічних домішок (частинок зносу), у тому числі заліза, монотонно збільшується електропровідність σ мастила. Але монотонність зміни σ порушується, коли його величина через деякий час експлуатації починає різко збільшуватись. Приблизно саме тоді починає різко збільшуватись концентрація механічних домішок, у тому числі, заліза, різко погіршується клас чистоти мастила, а коефіцієнт протизношувальних властивостей його також різко знижується. Все це добре ілюструється графіками на рис. 5 та 6, де в якості прикладу наведені результати зміни властивостей мастила І-Г-А-32, яке використовувалось у гідроприводі верстатів.

Наведені вище приклади сумісно з результатами теоретичних досліджень та лабораторних випробувань свідчать про те, що по електропровідності змащувального мастила можливо діагностувати знос, отже, довговічність вузлів тертя ДМ.

Коли зношування в процесі роботи розвивається поступово, тобто з мінімальною та постійною швидкістю, також поступово збільшується й концентрація частинок зносу металевих поверхонь в мастилі, що призводить до зростання його електропровідності. Однак в той час, коли інтенсивність зношування ДМ починає збільшуватись з аномальною швидкістю, тобто починає мати місце катастрофічне зношування ДМ, адекватно цьому різко зростає електропровідність мастила. Це сигналізує про те, що строк його служби вичерпаний через підвищену забрудненість частками зносу, або про появу яких-небудь інших явищ, що викликають інтенсивне зношування ДМ,

тобто електропровідність може бути бракувальним показником, який обмежує строк служби мастила (табл. 3).

Таблиця 3

Бракувальні значення електропровідності і відповідні їм строки служби мастил

Марка мастила	Бракувальне значення σ , Ом ⁻¹ ·м ⁻¹ ·10 ¹⁰	Строк служби мастила
Індустріальне І-Г-А-32	3,48	1200 год
Осьове Л	132	30 тис. км
Моторне М-12-Г ₁	530	6,5 тис. км

Слід відмітити, що в теперішній час в умовах експлуатації існує чимало побічних методів діагностування зносу та довговічності ДМ. Це, насамперед, стандартні методи аналізу стану змащувальних мастил з метою визначення, наприклад, вмісту в них присадок, класу чистоти і т.п. Але ці методи потребують складного лабораторного обладнання, додаткового технічного персоналу та занадто багато часу. Наприклад, для визначення класу чистоти мастила (разом з підготовкою до аналізу) потрібно не менш 4-х годин.

Електропровідність, як показано вище, в повній мірі характеризує (діагностує) зношування ДМ та відслідковує негативні зміни властивостей мастила. При цьому слід мати на увазі, що для визначення електропровідності пропонуваним у роботі методом потрібно лише 15 хвилин, тобто він є експрес-методом.

Далі у четвертому розділі наведені практичні рекомендації по використанню електропровідності в експлуатаційних умовах для діагностування зносу та довговічності ДМ, а також встановленню фактичного строку служби змащувального мастила, який забезпечить мінімальну інтенсивність зношування поверхонь тертя.

Слід також відмітити, що досягнення в процесі експлуатації критичного значення електропровідності мастил може не бути обов'язковою умовою необхідності їх зміни. Можливо, що достатньо мастила очистити від частинок зносу та інших забруднень, після чого, якщо інші показники якості не вийшли за допустимі (бракувальні) межі, мастила можуть продовжувати експлуатуватись в машинах. Але, як показує досвід експлуатації машин та використання мастил, підвищення в них концентрації частинок зносу, як правило, супроводжується іншими негативними явищами: спрацьованістю присадок, накопиченням продуктів окислення і т.п. Тобто електропровідність мастила можна вважати інтегральним діагностичним показником, який характеризує не тільки хід зношування ДМ, але й загальний стан мастила.

ВИСНОВКИ

1. Електропровідність мастильної плівки зростає при наявності в ній частинок зносу металевих поверхонь, а також з підвищенням концентрації та розмірів цих частинок.

2. Теоретично показано, що електропровідність змащувальної мастильної плівки складається з двох складових: електропровідності, обумовленої наявністю в мастилах металевих частинок зносу, і електропровідності чистих мастил. При цьому електропровідність мастильної плівки визначається, головним чином, наявністю на металевих частинках зносу електричного заряду, що виникає в результаті вирівнювання електрохімічного потенціалу між диспергованими частинками і навколишнім середовищем (мастилом).

3. Теоретично показано та експериментально підтверджено, що електропровідність мастила не залежить від його в'язкості, проте з підвищенням температури мастила його електропровідність зростає.

4. Електропровідність зростає за параболічною залежністю по мірі збільшення ступеня відпрацьованості мастила, що пов'язано із аналогічним за характером зростанням концентрації металевих частинок забруднень (через зношування поверхонь тертя) і задовільно узгоджується з отриманими результатами теоретичних досліджень. По мірі збільшення ступеня відпрацьованості мастила адекватно його електропровідності зростає знос ДМ. При цьому настає такий період, коли електропровідність досягає деякої граничної (критичної) величини, коли починається різке збільшення інтенсивності зношування, що негативно впливає на довговічність ДМ.

5. Електропровідність мастила є діагностичним параметром зносу ДМ та бракувального стану властивостей мастила, коли останнє з метою забезпечення довговічності ДМ необхідно або замінити на свіже, або очищати від частинок забруднень, за умови, якщо інші параметри мастила не вийшли за припустимі (бракувальні) межі. Тому строк служби мастил різноманітного призначення й марок визначається граничним значенням величини їх електропровідності σ .

6. Практичне застосування запропонованого методу діагностування зносу та довговічності ДМ по електропровідності змащувального мастила дозволить підвищити ефективність роботи машин в експлуатації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Березняков А.И., Венцель Е.С., Бабенко А.А. Уравнение интенсивности изнашивания узла трения, учитывающее взаимодействие частиц износа с поверхностью //Трение и износ. –1998. –Т.19, №5. –С.579-584.

2. Березняков А.И., Венцель Е.С., Бабенко А.О. Про зв'язок інтенсивності зношування деталей машин з електропровідністю мастильної плівки //Підвищення ефективності технології та техніки для виконання вантажно-розвантажувальних, будівельних і колійних робіт на залізничному транспорті: Зб. наук. пр. –Харків: ХарДАЗТ, 1999. –Вип. 36. С.132-136.

3. Березняков А.И., Венцель Е.С., Бабенко А.А. Електропровідність мастила як бракувальний показник його протизношувальних властивостей: Зб. наук. пр. –Харків: ХарДАЗТ, 2000. –Вип. 42. С.37-40.

4. Венцель Е.С., Бабенко А.А., Березняков А.И. О зависимости износостойкости подшипников скольжения от электропроводности смазывающей масляной пленки //Пробл. созд. новых машин и технологий. Н/труды КГПИ. –Вып. 1/2000(8). –Кременчуг: КГПИ, 2000. –С.423-425.

5. Бабенко А.А. О зависимости износостойкости узлов трения от электропроводности масла //Автомобильный транспорт. –Вып. 5. –Серия “Совершенствование машин для земляных и дорожных работ”: Сб. науч. трудов. –Харьков: ХГАДТУ, 2000. –С.152-154.

6. Венцель Е.С., Бабенко А.О. Електропровідність мастила як критерій оцінки його строків служби та зношування деталей машин: Зб. наук. пр. –Харків: ХарДАЗТ, 2001. –Вип. 45. С.94-100.

7.Березняков А.И., Венцель Е.С., Бабенко А.А. Корреляция между электропроводностью масляной пленки и интенсивностью изнашивания //Трение и износ. –2001. –Т.22, №3. –С.265-270.

АНОТАЦІЇ

Бабенко А.О. Діагностування зносу та довговічності деталей машин по електропровідності змащувального мастила. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2001.

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності роботи машин за рахунок своєчасного діагностування зносу та довговічності деталей машин шляхом своєчасної заміни мастила у зв'язку з критичним значенням величини його електропровідності.

У даній роботі розроблена математична модель, адекватна процесу електропровідності вузла тертя, а також експериментально підтверджений взаємозв'язок між електропровідністю масляної плівки і зносом вузлів тертя деталей машин. Приведені результати лабораторних і експлуатаційних досліджень, які підтверджують безпосередню залежність між перерахованими вище параметрами. Основні результати роботи, зокрема, методика визначення величини електропровідності, рекомендовані до впровадження на підприємства Південної залізниці.

Ключові слова: деталі машин, електропровідність, змащувальне мастило, вузол тертя, знос, інтенсивність зношування.

Бабенко А.А. Диагностирование износа и долговечности деталей машин по электропроводности смазочного масла. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2001.

Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности работы деталей машин (ДМ) за счет своевременного диагностирования их износа и долговечности по величине электропроводности смазочного масла.

На интенсивность и величину изнашивания ДМ помимо различных факторов (нагрузки, скорости, свойств смазочного масла) оказывает существенное влияние наличие в масле частиц износа, способных приводить к интенсивному изнашиванию поверхностей ДМ и повысить электрическую проводимость смазочного масла. Поэтому величина этого параметра масла может являться диагностическим показателем процесса изнашивания ДМ, а также служить критерием дальнейшей работоспособности масла. До настоящего времени в отечественной и зарубежной литературе, практически, отсутствуют сведения о непосредственной зависимости износостойкости ДМ от электропроводности масляной пленки, находящейся в зазоре между трущимися

поверхностями ДМ.

Используя известные положения физики и теории износа, была установлена аналитическая взаимосвязь между интенсивностью изнашивания ДМ и электропроводностью смазывающего масла. При этом оказалось, что электропроводность масла прямо пропорциональна его диэлектрической проницаемости, квадратному корню из произведения удельной интенсивности изнашивания ДМ и диаметра пятна контакта, а также обратно пропорциональна квадрату размера частиц, квадратному корню из плотности их материала и величины зазора.

Проведены экспериментальные исследования с целью отработки методики определения электропроводности масел, а также подтверждения экспериментальным путем взаимосвязи между величиной электропроводности и износом ДМ при смазывании трущихся поверхностей маслами с различной степенью отработанности.

Для измерения электропроводности масляных пленок использовался тераомметр МОМ-4, позволяющий измерять сопротивление жидких диэлектриков в диапазоне сопротивлений от $2 \cdot 10^3$ Ом до 10^{13} Ом, (обратная величина – электропроводность).

Установлено, что электропроводность при увеличении степени отработанности масел, а также с ростом температуры, возрастает: в первом случае по параболическому закону, во втором – по экспоненциальному, что в целом соответствует результатам теоретических исследований.

Наряду с определением электропроводности были проведены лабораторные испытания с целью установления непосредственной зависимости между величиной электропроводности и износом ДМ при смазывании их маслами с различной концентрацией в них частиц изнашивания.

Показано, что при достижении величины электропроводности некоторого предельного (критического) значения резко начинает возрастать износ образцов, а также и сама электропроводность, что связано с резким увеличением концентрации в масле частиц износа.

Следовательно, для каждого масла существует предельно допустимое значение электропроводности и соответствующее ему критическое значение срока службы масла, превышение которого приводит к резкому увеличению износа ДМ.

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что электропроводность может являться диагностическим параметром износа и долговечности ДМ, а также браковочным критерием срока службы масел, так как резкое увеличение электропроводности служит признаком необходимости их замены на свежие.

В работе приведены примеры реализации использования предложенного метода диагностирования износа и долговечности ДМ в условиях эксплуатации. Испытаниям подвергались моторно-осевые подшипники электровоза ВЛ-11, гидроприводы плоскошлифовальных станков ЗБ722 и двигатель автомобиля ВАЗ-2106. Эти объекты были выбраны потому, что в их составе находится значительное количество узлов трения, конструктивно представляющих собой

ДМ общего назначения.

Как показали результаты эксплуатационных испытаний, по мере монотонного возрастания в маслах концентрации механических примесей (частиц износа), в том числе железа, монотонно увеличивается электропроводность масла. Однако монотонность изменения электропроводности нарушается тогда, когда ее величина через некоторое время эксплуатации начинает резко возрастать. Приблизительно тогда же начинает резко увеличиваться концентрация механических примесей, в том числе железа, резко ухудшается класс чистоты масла, а коэффициент противоизносных свойств его также резко снижается.

Приведенные выше примеры совместно с результатами теоретических исследований и лабораторных испытаний свидетельствуют о том, что по электропроводности смазывающего масла возможно диагностировать износ, а следовательно, долговечность узлов трения деталей машин.

Ключевые слова: детали машин, электропроводность, смазочное масло, узел трения, износ, интенсивность изнашивания.

Babenko A.O. Diagnostics of wear and durability of machine parts according to electrical conductivity of lubricating oil.- Manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences according to the speciality 05.02.02 study machinery. National Technical University Kharkov Polytechnical Institute, Kharkov, 2001.

The dissertation is devoted to the problems of raising the efficiency of machine work at the expense of timely diagnostics of wear and durability of machine parts by means of timely substitution of oil in connection with critical value of its electrical conductivity.

A mathematical model, which is identical to the process of electrical conductivity of a friction unit, has been developed in this work. Also we have developed experimentally proved intercommunication between electrical conductivity of oil film and wear of friction units of machine parts. The results of laboratory and operational research which prove direct dependence between all the mentioned above parameters are given here in this work the main results of the work, especially the method of electrical conductivity value determination have been recommended to put into practice at enterprises of Southern railway.

Key words: electrical conductivity, lubrication oil, friction unit, wear, intensity of wear, machine parts.

Автореферат

**ДІАГНОСТУВАННЯ ЗНОСУ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПО ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ
ЗМАЩУВАЛЬНОГО МАСТИЛА**

Бабенко Андрій Олександрович

Відповідальний за випуск: к.т.н. А.В. Євтушенко

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку “_____” _____
_____2002