

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Євтушенко Андрій Вікторович

УДК 621.651

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ  
ПРОТИЗНОШУВАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ЗМАЩУВАЛЬНИХ МАСТИЛ

05.02.02 - машинознавство

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 1999

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Харківської державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор

Венцель Євген Сергійович, Харківська державна академія залізничного транспорту,  
завідувач кафедри будівельних колійних та вантажно-розвантажувальних машин

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор

Доценко Володимир Миколайович, Державний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського "ХАІ" (м.Харків)

кандидат технічних наук, професор

Лісіков Євген Миколайович, Харківський державний автомобільно-дорожній технічний університет перший проректор з учбової роботи

Провідна організація: Інститут проблем машинобудування ім. акад. А.М.

Підгорного НАН України, м. Харків.

Захист відбудеться " 6 " жовтня 1999 р. о 14-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.10 у Харківському державному політехнічному університеті (310002, м. Харків - 2, вул. Фрунзе,21).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського державного політехнічного університету.

Автореферат розісланий "27 " серпня 1999 р.

Вчений секретар

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підшипники ковзання (ПК) є невід'ємною частиною конструкції машин (двигунів внутрішнього згоряння, гідроприводів, верстатів, тощо). Одним з основних конструктивних елементів, що забезпечує зносостійкість ПК, є змащувальне мастило (ЗМ) на нафтовій основі.

При використанні в машинах з ЗМ відбувається ряд процесів, які негативно відбиваються на експлуатаційних властивостях ЗМ, що приводить до необхідності їх заміни.

Одним з таких основних процесів є спрацьовування присадок, що додаються до ЗМ для поліпшення їх експлуатаційних властивостей. Особливо згубно позначається спрацьовування протизношувальної присадки (ПП), тому що вона у значній мірі забезпечує зносостійкість елементів машин, у тому числі ПК. З іншого боку, має місце дефіцит нафтопродуктів на Україні та їх висока вартість. Тому часта заміна ЗМ приводить до значних матеріальних витрат експлуатуючих організацій.

У зв'язку з викладеним виникає необхідність пошуку нових технічних рішень, які спрямовані на підвищення зносостійкості ПК з одночасною економічною витратою ЗМ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри "Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини" (БКВРМ) Харківської державної академії залізничного транспорту (ХарДАЗТ) по пріоритетному напрямку науки і 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 послідуєчими доповненнями), а також виконувалась в рамках науково-дослідних робіт кафедри за держбюджетними темами 8/4-93Б та 8/4-96Б.

Мета і задачі дослідження. Підвищення ефективності роботи машин за рахунок зниження зносу їх ПК шляхом дозованого уведення до ЗМ ПП замість спрацьованої.

Для досягнення вказаної мети було проведено відповідні теоретичні та експериментальні дослідження у лабораторних та експериментальних умовах, в результаті чого вдалося встановити ефективність застосування дозованого уведення ПП до ЗМ з точки зору поліпшення їх протизношувальних властивостей та підвищення зносостійкості вузлів тертя, в тому числі ПК.

Наукова новизна одержаних результатів:

- запропоновано і теоретично обґрунтовано новий метод дозованого уведення присадок до ЗМ в процесі експлуатації машин;

- отримано і експериментально підтверджено математичну модель інтенсивності зношування поверхонь тертя ПК при нестационарному режимі роботи, яка дозволила розширити існуючі погляди механізму дії ПП;

- експериментально встановлено величину мінімально допустимої концентрації ПП у ЗМ, подальше зменшення якої приводить до погіршення їх протизношувальних властивостей;

- встановлено закономірність спрацьовування ПП у ЗМ під час їх експлуатації;

- отримано кількісні характеристики підвищення зносостійкості ПК та інших вузлів тертя й збільшення строків служби ЗМ при дозованому уведенні до них ПП.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонований метод дозованого уведення ПП дозволяє підвищити зносостійкість ПК та інших вузлів тертя і строки служби ЗМ, що сприяє більш ефективному використанню машин при одночасній економії дефіцитних ЗМ.

Метод дозованого уведення ПП було впроваджено на ВАТ “Електромаш” міста Харкова на металообробних верстатах з гідроприводами. Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес будівельного факультету та інституту підвищення кваліфікації і перепідготовки кадрів ХарДАЗТ, а також використовуються у дипломному проектуванні.

Особистий внесок здобувача. Запропоновано і теоретично обґрунтовано новий метод дозованого уведення ПП до ЗМ, а також розроблено конструкцію спеціального контейнера, який дозволяє реалізовувати цей метод.

Встановлено аналітичний зв'язок між товщиною зношеного шару з матеріальними характеристиками поверхонь тертя ПК, у тому числі, зі щільністю дислокацій, а також проведено експериментальні дослідження щодо установлення кореляції теоретичних і експериментальних даних.

Запропоновано уточнений механізм дії ПП, який полягає у зміцненні поверхні тертя за рахунок інтенсивності виходу дислокацій у приповерхневу зону.

Розроблено методики і проведено експериментальні дослідження, оброблено (у тому числі, на ПЕОМ) і проаналізовано отримані результати, на підставі яких зроблено відповідні висновки по роботі та запропоновано практичні рекомендації щодо використання контейнера для дозованого уведення присадок до ЗМ.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідалися на 55 - 60 науково-технічних конференціях ХарДАЗТ (1993 - 1998 рр.), міжнародній науково-технічній конференції присвяченій 50 - річчю кафедри “БКВРМ” ХарДАЗТ (1997р.), міжнародній науково-технічній конференції “Зносостійкість машин” (Брянськ, 1993р.).

Повністю дисертація доповідалась на науковому семінарі кафедри “Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини” ХарДАЗТ.

Публікації.

За результатами досліджень опубліковано 7 статей, методичні вказівки для студентів спеціальності 7.090214, тези 2-х доповідей науково-технічних конференцій, отримано патент на винахід.

#### Структура та обсяг дисертаційної роботи.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, основних результатів та висновків по роботі, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи 175 сторінок, у тому числі 88 сторінок машинописного тексту, 16 таблиць, 47 рисунків, список використаних джерел, який містить 110 найменувань та 3 додатки на 29 сторінках.

Достовірність отриманих результатів підтверджується застосуванням під час досліджень фундаментальних положень фізики, хімії та нерівновагової термодинаміки, кореляцією результатів теоретичних і експериментальних досліджень, застосуванням ПЕОМ для математичної обробки отриманих результатів, позитивним досвідом упровадження дозованого уведення ПП ДФ-11 до діючих гідроприводів верстатів на ВАТ “Електромаш”.

Автор визнає за свій приємний обов'язок висловити щире подяку доктору хімічних наук, професору М.А.Альтшулеру за цінні поради, отримані під час роботи над дисертацією.

### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність розглянутої теми, її наукова новизна та практичне значення одержаних результатів наведена стисла характеристика роботи, визначено мету і задачі досліджень.

У першому розділі розглянуто умови змащування ПК при нестационарному режимі роботи та процеси, які відбуваються з ЗМ та негативно впливають на їх експлуатаційні властивості. Одним з таких процесів є спрацьовування легуючих присадок у ЗМ, яке зумовлено наступними причинами: утратенням активних компонентів присадок, розкладанням, деполімеризацією, випадінням присадок до осадку та інше. Внаслідок цього погіршується цілий ряд експлуатаційних властивостей ЗМ, зокрема, протизношувальні.

Відомо, що найбільш інтенсивно спрацьовуються присадки у ЗМ у початковий період експлуатації. Потім швидкість спрацьовування присадок квазістабілізується. При цьому закономірність спрацьовування присадок підпорядковується закономірностям реакцій першого, а іноді нульового порядків. При цьому було встановлено, наприклад, що для збільшення строку служби ЗМ Тп-22 в 2 рази (по спрацьовуванню антиокислювальної присадки іонол) потрібно збільшити початкову концентрацію присадки в  $e^2$  рази, що економічно недоцільно. З кінетичної точки зору доцільно дробити призначену для ЗМ кількість присадки і періодично додавати чергову дозу шляхом застосування дозованого уведення, що переконливо показано у працях

вчених. Далі у розділі наводяться описані у літературі деякі результати досліджень дозованого уведення присадок до моторних мастил, що підтверджують високу ефективність даного методу. Для дозованого уведення присадок до моторних мастил існує значна кількість різних пристроїв. Але всі вони конструктивно складні, мають високу вартість, потребують уживання спеціального обладнання та матеріалів.

Для дозованого уведення присадок до ЗМ нами було розроблено контейнер модульної конструкції, вивільнення ПП в якому здійснюється через капіляр. Такий контейнер досить простий, надійний і може бути використано у будь-яких машинах.

Другий розділ присвячено теоретичним основам дозованого уведення присадок та підвищенню зносостійкості вузлів тертя.

Дозоване уведення присадок за допомогою контейнеру може здійснюватися двома механізмами: дифузією або гідродинамікою. Визначальним у цьому питанні є необхідна швидкість дозованого уведення.

Якщо встановлено, що необхідно додавати невелику кількість присадки протягом тривалого часу, то доцільно використовувати механізм дифузії, згідно якого кількість продифундованої присадки  $m$  може бути знайдена за законом Фіка:

$$dm = D \frac{dc}{dx} S dt,$$

(1)

де  $D$  - коефіцієнт дифузії;  $dc/dx$  - градієнт концентрації;  $S$  - площа дифузії;  $t$  - час дифузії.

Якщо швидкість надходження присадки до ЗМ за допомогою дифузії мала, то дозоване уведення можна здійснювати за допомогою гідродинаміки. Тоді відповідно з рівнянням Пуазейля:

$$Q = \frac{n \pi p r^4}{8 \eta l} t,$$

(2)

де  $n$  - кількість капілярів;  $\Delta p$  - різниця тиску на обох кінцях капіляру;  $r$  - радіус капіляру;  $t$  - час вивільнення присадки;  $\eta$  - в'язкість присадки;  $l$  - довжина капіляру.

Для зниження зносу ПК до ЗМ необхідно у першу чергу дозовано додавати ПП. При цьому дуже важливим є встановлення впливу ПП на характеристики приповерхневих шарів тертя ПК, а отже, на зносостійкість. Для рішення цієї задачі була використана теорема І.Пригожина про

наближення термодинамічної системи до стаціонарного стану, при якому виробництво ентропії прямує до мінімального значення. Було припущено, що пара тертя “вал-підшипник” це динамічна дисипативна система, у якій реалізується деградація енергії макромеханічного руху, тобто виробляється ентропія. Внаслідок проведених теоретичних досліджень була отримана математична модель інтенсивності зношування I:

$$I \propto \frac{V_0 n_0 k T}{2 b^4 \Delta_d \Delta_0 H B} \sqrt{\frac{\Delta}{G}},$$

(3)

де  $V_0$ ,  $n_0$  - відповідно, середній об'єм та об'ємна концентрація часток зносу в зазорі ПК;  $k$  - стала Больцмана;  $T$  - температура;  $\propto$  - коефіцієнт пропорційності;  $b$  - абсолютна величина вектору Бюргерса;  $\Delta_d$  - щільність дислокацій у приповерхневій зоні;  $\Delta_0$  - інтервал часу;  $\Delta$  - щільність;  $H B$  - твердість;  $G$  - модуль зсуву.

З рівняння (3) виходить, що крім інших факторів, величина інтенсивності зношування обернено пропорційна поверхневій щільності дислокацій.

Третій розділ присвячено методиці та результатам лабораторних досліджень. Під час проведення лабораторних досліджень нами використовувалась ПП ДФ-11, яка найбільш часто застосовується для легування ЗМ.

З метою встановлення мінімально допустимої концентрації ПП ДФ-11, а також впливу її на протизношувальні та антифрикційні властивості ЗМ було проведено лабораторні випробування на машинах тертя СМТ-1 (чотиришарикова схема) і СМЦ-2 (схема “колодка-ролик”). Для змащування зразків застосовувались свіже без присадки ЗМ І-Г-А-32, працювало 200 годин, ЗМ МГ-46-В (0,24% ДФ-11) і працювало 2000 годин ЗМ І-Г-С-32 (0% ДФ-11), а також ці ж ЗМ після додання до них ДФ-11 у концентрації від 0,2 до 1,5% від об'єму ЗМ.

Результати випробувань показали, що по мірі збільшення концентрації ПП діаметр плями зносу зменшується. Але збільшення концентрації ПП більш ніж 0,4% значно не поліпшує протизношувальних властивостей ЗМ. Це дає підставу уважати, що 0,4% є мінімально допустимою концентрацією ПП ДФ-11. Подальше зниження концентрації приводить до істотного збільшення зносу.

Результати досліджень на машині тертя СМЦ-2, де імітується робота ПК, показали, що введення до ЗМ ПП ДФ-11 значно знижує коефіцієнт тертя (у середньому в 1,36 рази) та збільшує зносостійкість зразків (у середньому в 1,47 рази). Як приклад, на рис.1 наведено відповідні відомості, щодо ЗМ І-Г-С-32 при випробуваннях його зі зразками, виготовленими з бронзи БрАЖ9-4 (колодка) і сталі 18ХГТ (ролик).

Стан приповерхневих шарів сталевих роликів, що використовувались у зносних випробуваннях на машині тертя СМЦ-2, досліджувався методами рентгеноструктурного й металографічного аналізів, в процесі яких визначались щільність дислокацій, розмір ділянок когерентного розсіювання (ОКР) та мікротвердість приповерхневого шару.

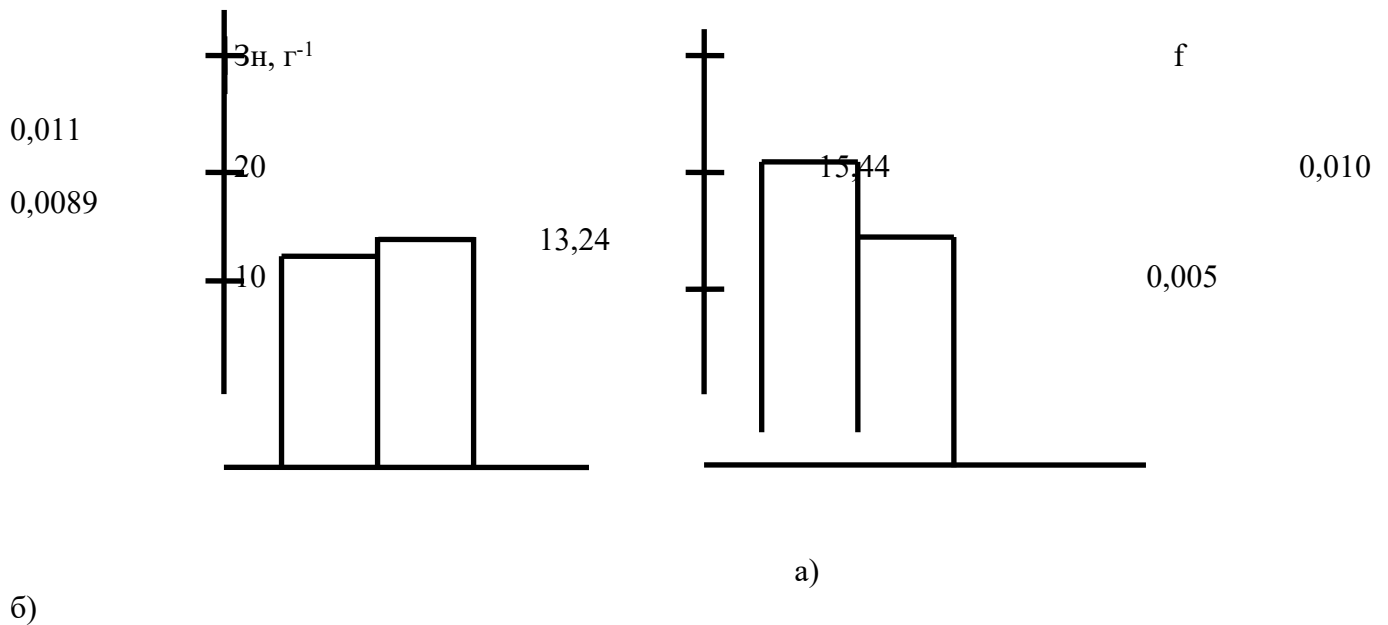


Рис.1. Змінювання зносостійкості а) та коефіцієнта тертя б) пари тертя БрАЖ9-4 і сталі 18ХГТ

Результати досліджень показали, що додавання до ЗМ ПП ДФ-11 знижує розмір ОКР і збільшує щільність дислокацій, що приводить до збільшення мікротвердості, а отже зміцнення поверхонь тертя, тобто до підвищення їх зносостійкості. Крім того, відбувається зниження шорсткості поверхонь роликів.

Як приклад, у табл.1 наведено відповідні дані, що відносяться до ролика зі сталі ШХ-15 при випробуваннях його у контакті з колодкою з тієї ж сталі на свіжому ЗМ І-Г-А-32.

Таблиця 1

Результати зносних випробувань та характеристика трибоповерхні ролика

| Стан<br>ЗМ<br>І-Г-А-32 | Знос<br>роли-к<br>а,<br>г | Температу-<br>ра поверхні<br>тертя<br>наприкінці<br>випробувань, К | Показник поверхні тертя                    |   |  |  |
|------------------------|---------------------------|--|--|---|--|--|
|                        |                           |  | розмір<br>ОКР,<br>$\frac{\sigma}{\lambda}$ | щільність<br>дислокацій,<br>$\Delta_d \cdot 10^{-11}$<br>см <sup>-2</sup> | мікротвер-<br>дість,<br>Н <sub>с</sub> 100 | шорсткість,<br>R <sub>a</sub> ,<br>мкм |
|                        |                           |  |  |   |  |  |



|                  |        |     |      |       |      |           |
|------------------|--------|-----|------|-------|------|-----------|
| -                | -      | -   | 460* | 1,42* | 815* | 0,32-0,38 |
| свіже            | 0,0052 | 358 | 448  | 1,56  | 836  | 0,25-0,28 |
| свіже<br>+ ДФ-11 | 0,0033 | 356 | 435  | 2,7   | 898  | 0,2-0,25  |

Примітка. \* - відомості, щодо зразка у початковому стані.

Для порівняння теоретичних та експериментальних даних було прийнято, що усі параметри, що входять до рівняння (3), стали величини, крім  $\Delta_d$  і  $T$ . Тоді (3) буде мати вигляд:

$$I \propto \frac{A * T}{\Delta_d},$$

(4)

де

$$A \propto \frac{V_o n_o k}{2 b^4 \Delta_d \sigma_{HB}} \sqrt{\frac{\Delta_d}{G}} \propto const$$

Тоді можна записати:

$$A \propto A_o \propto A_n \propto \frac{I_o * \Delta_{до}}{T_o} \propto \frac{I_n * \Delta_{дн}}{T_n} \propto const,$$

(5)

де індексом "0" позначено параметри, що відносяться до ЗМ без присадки, а індексом "n" - до ЗМ з ПП.

Результати розрахунків по рівнянню (5) показали, що чисельні значення лівої та правої часток рівняння для однакових матеріалів роликів досить близькі один до одного: в середньому, розбіжність складає біля 30 % (як приклад, див. табл.2. Інші дані розрахунків наведено у дисертації).

Наведені результати дослідження не тільки підтверджують правдивість рівняння (3), але й дозволяють, виходячи з сутності явищ, що відбуваються, розширити та поглибити механізм дії ПП. Як відомо, між компонентами ПП та металом відбуваються хімічні реакції, внаслідок чого на поверхнях утворюється захисна плівка, що витримує великі напруження і розділяє поверхні, запобігаючи їх взаємній адгезії, отже, їх схоплюванню та заїданню. Одночасно з цим

поверхнево-активні речовини (ПАР), що містяться у ПП, забезпечують інтенсивний вихід дислокацій у приповерхневу зону тертя. Внаслідок цього поверхні тертя зміцнюються, а їх зносостійкість збільшується.

Таблиця 2

Результати розрахунків по рівнянню (5)

| Стан<br>ЗМ<br>І-Г-А-32 | Матеріал:  | $\frac{I_o * \square_{Др} * 10^{17}}{T_o}$ , | $\frac{I_n * \square_{Др} * 10^{17}}{T_n}$ , |
|------------------------|------------|--|--|
|                        | колодки    |  |  |
|                        | ролика     | г/см <sup>2</sup> К                          | г/см <sup>2</sup> К                          |
| свіже                  | Сталь ШХ15 | 22,8   | 25,02  |
|                        | Сталь ШХ15 |  |  |

Четвертий розділ присвячено експлуатаційним випробуванням гідроприводів (ГП) верстатів.

ГП нами було вибрано тому, що у його складі є значна кількість вузлів тертя, які конструктивно представляють ПК (блоки циліндрів аксіально-поршневих насосів і гідромоторів, що обертаються у корпусі, їх підп'ятники, розподільні шайби, пластини лопатних насосів при контакті зі статором, пробкові крани для керування потоками робочої рідини (РР) та інше) або напрямні ковзання (гідроциліндри, плунжери аксіально-поршневих гідронасосів і гідромоторів, золотники розподільників та інше).

Зносостійкість цих вузлів тертя здебільшого визначає вихідні характеристики ГП, зокрема, ККД насосів.

Метою експлуатаційних випробувань було встановлення закономірності спрацьовування ПП ДФ-11 у РР І-Г-С-32 під час використання її у ГП верстатів, а також визначення ефективності дозованого уведення ДФ-11 за допомогою контейнера з точки зору зносостійкості вузлів тертя та строків служби РР.

Випробування проводилися на ВАТ “Електромаш” (м. Харків) на плоскошліфувальних (моделей ЗБ722, ЗД725) і внутрішньошліфувальних (моделей ЗА229, ЗК227А) верстатах. Протягом 1000 годин випробувань (строк служби РР) з ГП чотирьох верстатів періодично проводився відбір проб РР, в яких визначали концентрацію ПП ДФ-11.

Результати аналізів показали, що у початковий період експлуатації відбувається інтенсивне спрацьовування ПП. Потім швидкість зниження її концентрації зменшується. При цьому через 1000 годин наявність присадки у РР складає 0,06 - 0,12%, що значно нижче мінімально

допустимого значення (0,4%). Отримані результати аналізів оброблялися програмним продуктом Excel 7,0 фірми Microsoft, в наслідок чого удалося встановити, що спрацьовування ПП ДФ-11 у РР І-Г-С-32 підлягає експоненційній залежності. Так наприклад, відповідне рівняння для РР з ГП верстата №1 (умовний номер) має вигляд:

$$C = 0,7875e^{0,0023t},$$

(6)

де  $C$  - концентрація присадки;  $t$  - час роботи РР у ГП.

За допомогою апроксимуючих рівнянь було розраховано середній час роботи РР І-Г-С-32, протягом якого в ній спрацьовується ПП ДФ-11 до концентрації 0,4%. Для цього було записано усереднено по чотирьом ГП рівняння закономірності спрацьовування ПП:

$$C = 0,8412e^{0,0023t}$$

(7)

Якщо у (7) прийняти  $C = 0,4\%$ , то отримаємо, що середній час спрацьовування ДФ-11 складає приблизно 300 годин, що більше ніж у 3 рази менше рекомендованого строку служби РР І-Г-С-32. Використовуючи отримані рівняння, було визначено швидкості спрацьовування ДФ-11:

$$C' = \lambda C_0 e^{-\lambda t},$$

(8)

де  $\lambda$  - константа спрацьовування;  $C_0$  - початкова концентрація присадки.

$$C_{cp} = \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} C' dt = \frac{C_0}{t_1} \left[ e^{-\lambda t_1} - 1 \right],$$

(9)

де  $t_1$  - час випробування ГП.

Виходячи з середнього значення швидкості спрацьовування ДФ-11 у РР з кожного ГП, було розраховано параметри капілярів контейнерів, що забезпечують відповідну швидкість вивільнення

з них ПП та підтримують її концентрацію у РР на рівні не менше ніж 0,4%. На підставі цього було виготовлено чотири контейнера з потрібними параметрами капілярів. Ці контейнери з присадкою ДФ-11 було встановлено у ГП чотирьох верстатів, а інші чотири верстати (таких же моделей) працювали з серійними ГП. Використовувалась свіжа РР І-Г-С-32. Верстати, що порівнювалися, експлуатувалися в однакових умовах, які забезпечували відносно рівні механічні і теплові навантаженості ГП. Періодично проводилося відбір проб РР для проведення їх аналізу, а також визначення ККД насосів. При цьому РР у серійних ГП експлуатувалися 1000 годин, а в ГП з контейнерами - 2000 годин.

На рис.2 і 3, як приклад, наведено результати аналізів РР з ГП верстатів №5 з серійним ГП і №1 з контейнером для дозованого уведення присадки, а також дані по відносному об'ємному ККД.

Результати аналізів показали, що при застосуванні дозованого уведення ДФ-11 має місце наступне:

1.Наявність ПП у РР протягом усього періоду випробувань складає не менш ніж 0,4%. Внаслідок цього у порівнянні з серійними ГП знижується знос ПК (по швидкості падіння об'ємного ККД - у середньому в 2,6 рази) та інших вузлів тертя (по наявності заліза в РР - у 1,66 рази, по концентрації механічних домішок неорганічного походження у 1,33 рази, по величині коефіцієнта протизношувальних властивостей РР - у 1,42 рази).

2.За рахунок поліпшення протизношувальних властивостей клас чистоти за ГОСТ17216-71 РР на 1 - 2 одиниці вище, ніж РР з серійних ГП.

3.Знижується швидкість окислення РР, а отже, наявність у ній механічних домішок органічного походження.

4.Строк служби РР (по концентрації у ній ПП ДФ-11) може бути продовжено мінімум до 1600 годин, що виходить з відповідних апроксимуючих рівнянь. За іншими фізико-хімічними показниками через 1600 годин РР ще не досягли відповідних значень у контрольних ГП 1000 годин.

а)

б)

Рис.2. Змінювання а) коефіцієнта  $K_j$  протизношувальних властивостей РР та б) відносного

об'ємного ККД  $\frac{V_1}{V_0}$  /  $\frac{V_1}{V_0}$  насосів ГП верстатів:

-o-o-o- №1 з контейнером; -♦-♦-♦- №5 - контрольний

У п'ятому розділі розглянуто практичні рекомендації щодо застосування контейнерів для дозованого уведення присадки у РР ГП.

За допомогою запропонованого контейнера можна уводити інші рідкі присадки, які застосовуються у РР. Для встановлення ефективності дозованого уведення інших присадок необхідно проведення спеціальних досліджень, які не були метою даної роботи.

#### Висновки.

1. Зносостійкість ПК в процесі їх експлуатації крім інших факторів знижується за рахунок спрацьовування в ЗМ ПП. Збільшення під час наробки ЗМ початкової кількості ПП з метою підтримання її концентрації на необхідному для забезпечення мінімального зношування рівні є економічно недоцільним.

2. З кінетичної точки зору найбільш ефективно по мірі спрацьовування уводити присадки в ЗМ дозовано. Існуючі у теперішній час методи дозованого уведення та пристрої, що їх реалізують, надто складні конструктивно і технологічно, містять у собі дорогі елементи та мають інші недоліки.

Рис.3. Змінювання фізико-хімічних показників РР у ГП верстатів:

-o-o-o- №1 з контейнером; -♦-♦-♦- №5 - контрольний;

$M_{по}$  ,  $M_{пн}$  - механічні домішки органічного походження і неорганічного походження відповідно;  
 $C_{пр}$  - концентрація ПП; К.ч. - кислотне число; Fe - домішки заліза

3. Запропоновано метод дозованого уведення присадок в ЗМ і контейнер, який реалізує цей метод. Вивільнення ПП з контейнера здійснюється за допомогою дифузії або гідродинаміки (у залежності від потрібної швидкості вивільнення).

4. Теоретично обгрунтована можливість вивільнення ПП з контейнера з потрібною швидкістю.

5. Розроблено і експериментально підтверджено математичну модель, яка пов'язує зносостійкість ПК при нестационарному режимі роботи з деякими математичними характеристиками поверхонь тертя. Установлено, зокрема, що інтенсивність зношування обернено пропорційна поверхневій щільності дислокацій. Отримані дані дозволили розширити існуючі погляди про механізм дії ПП.

6. Експериментально на машині тертя установлено, що мінімально допустимою концентрацією ПП ДФ-11 у РР є 0,4%. Перевищення зазначеної концентрації не адекватно впливає на зниження зносу, а зменшення приводить до різкого його збільшення.

7.Результати випробувань на машинах тертя у лабораторних умовах підтвердили підвищення зносостійкості ПК під час роботи їх у середовищі ЗМ, в якому підтримувалась концентрація ПП ДФ-11 на рівні 0,4% (у середньому в 1,52 рази), а також зниження коефіцієнта тертя (у середньому в 1,36) у порівнянні з ЗМ в яких ПП спрацювалась. Установлено також зміцнення приповерхневих шарів ПК під час роботи їх на ЗМ з ПП ДФ-11 (по щільності дислокацій у середньому в 1,64 рази).

8.За результатами експлуатаційних випробувань ГП верстатів, до складу яких входять конструктивні елементи типу ПК та напрямних ковзання, установлена закономірність спрацювання ПП ДФ-11 в РР І-Г-С-32. На підставі цієї закономірності було розраховано параметри контейнерів, які було виготовлено і установлено у ГП верстатів.

9.Порівняльні експлуатаційні випробування з контейнерами показали, що у порівнянні з контрольними ГП при дозованому уведенні присадки ДФ-11 зносостійкість вузлів тертя підвищується (зокрема насосів по швидкості падіння об'ємного ККД у середньому в 2,6 рази, по наявності заліза в РР у середньому в 1,66 рази, по концентрації механічних домішок неорганічного походження - у середньому в 1,33 рази, по величині коефіцієнта протизношувальних властивостей РР - у середньому в 1,42 рази). Одночасно не менш ніж в 1,6 рази підвищується строк служби РР.

10.На підставі результатів досліджень розроблено практичні рекомендації щодо застосування контейнера для дозованого уведення ПП ДФ-11 в РР ГП.

11.Результати роботи упроваджені у гідросистемах чотирьох верстатів ВАТ “Електромаш”. Крім того, прийнято рішення про переведення усього парку гідрофікованих верстатів цього підприємства на роботу з контейнером для дозованого уведення присадок.

12.Очікуваний економічний ефект від упровадження контейнерів складає у середньому 275 грн на рік на один верстат.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1.Альтшулер М.А., Венцель Е.С., Евтушенко А.В. Повышение износостойкости трибоузлов дозированным вводом присадок в масла и рабочие жидкости // Удосконалення засобів механізації на транспорті та підвищення зносостійкості елементів машин. Міжвуз. зб. наук. пр., присвячений 50 - річчю кафедри “Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини”. - Харків, 1997. - Вип.30. - С. 87 - 89.

2.Березняков А.И., Венцель Е.С., Евтушенко А.В. Термодинамический анализ взаимосвязи износа с поверхностной плотностью дислокаций // Трение и износ. - 1994. - Т.15, №2. - С. 181 - 185.

3. Венцель Е.С., Евтушенко А.В. Повышение износостойкости узлов трения гидропривода и сроков службы рабочих жидкостей дозированным вводом присадок // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. Сб. науч. тр. - Харьков, 1998. - Вып.7. - С. 36-38.

4. Венцель Е.С., Евтушенко А.В. Увеличение сроков службы рабочих жидкостей в гидроприводах дозированным введением присадок // Приводная техника. - 1998. - №5. - С.14-16.

5. Евтушенко А.В., Венцель Е.С., Березняков А.І. До механізму дії протизношувальної присадки до мастил // Управління технічною експлуатацією рухомого складу. Міжвуз. зб. наук. пр. Харків, 1998. - Вип.34. - С. 50 - 54.

6. Альтшулер М.А., Венцель Е.С., Евтушенко А.В. Дозоване введення присадок для поліпшення протиспрацьовувальних властивостей моторних мастил та робочих рідин // Залізничний транспорт України. – 1998. - №4-5. – С.36 – 39.

7. Пат.21514А Україна, МКИ<sup>6</sup> F 01 M 9/02. Пристрій для подачі присадки у моторні мастила та робочі рідини / М.А. Альтшулер, А.І. Березняков, Е.С. Венцель, А.В. Євтушенко (Україна).

8. Евтушенко А.В. Підвищення зносостійкості підшипників ковзання // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Сб. науч. тр. ХГПУ - Харьков, 1999. - Вып.7. Ч.2 - С. 102-105.

9. Венцель Е.С., Евтушенко А.В. Вплив концентрації присадки у мастилах та робочих рідинах на знос трибовузлів // Тези доп. 57 наук. - техн. конф. кафедр акад. та спец-тів залізн. тр-ту за міжнар. участю (21 - 23 листопада 1995 року). Харків, 1995. - С. 38.

10. Венцель Е.С., Альтшулер М.А., Евтушенко А.В. Улучшение противоизносных свойств рабочих жидкостей дозированным вводом присадок // Тез. докл. Междунар. науч.- техн. конф. “Износостойкость машин”. Брянск, 1994. - С. 84.

11. Венцель Е.С., Гончаров В.Н., Евтушенко А.В., Шевченко О.Г. Методы повышения надежности строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин. Методические указания по курсу “Основы надежности СППРМ” для студентов всех форм обучения специальности 1504 “Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование”, аспирантов, а также для инженеров, повышающих в академии свою квалификацию. Харьков, 1995. – 35 с.

## АНОТАЦІЯ

Євтушенко А.В. Підвищення зносостійкості підшипників ковзання стабілізацією протизношувальних показників змащувальних мастил. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 - машинознавство. - Харківський державний політехнічний університет, Харків, 1999.

Дисертація присвячена питанням підвищення зносостійкості підшипників ковзання та інших вузлів тертя машин шляхом дозованого уведення протизношувальної присадки до змащувальних мастил.

У роботі пропонується новий метод дозованого уведення за допомогою контейнера, вивільнення присадки у якому здійснюється за допомогою дифузії або гідродинаміки. Запропоновано теоретичні дослідження, які дозволяють вибрати конструктивні параметри контейнера і встановити взаємозв'язок між деякими характеристиками поверхонь тертя з їх зносостійкістю. Наведено методику і результати лабораторних досліджень та експлуатаційних випробувань, які підтвердили ефективність метода, що пропонується, для дозованого уведення присадки. Основні результати роботи знайшли практичне застосування на ВАТ "Електромаш" м. Харкова.

Ключові слова: підшипник ковзання, змащувальне мастило, присадка, контейнер, знос, зносостійкість, вузол тертя.

Yevtushenko A.V. The increasing of sliding bearings wear resistance by stabilization of lubricating oils antiwearability indicators. - Manuscript.

The thesis for awarding the degree of the candidate of technical sciences accords the speciality 05.02.02 – mechanical engineering. Kharkov State Polytechnic University, Kharkov, 1999.

The thesis is devoted to questions increasing the sliding bearings wear resistance and other machine friction knots by introducing the antiwear additive into the lubricating oils.

The author of the work offers the practically new method of input with the help of special container in which release of the layer takes place by the method of hydrodynamics or diffusion. We also offers the theoretical research which helps to find the constructive size of the container and to arrange the connection between the characteristics of friction surface and their level of wear resistance. We offer the methods and the results of the laboratory research, which confirmed the effectiveness of the offered method. The main results of the thesis found their practical usage at "Electromash" society of Kharkov.

The key words: sliding bearings, lubricating oil, the layer, container, wear, wear resistance, knot friction.

Евтушенко А.В. Повышение износостойкости подшипников скольжения стабилизацией противоизносных показателей смазочных масел. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 - машиноведение. - Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 1999.



Диссертация посвящена вопросам повышения износостойкости подшипников скольжения и других узлов трения машин путем дозированного ввода противоизносной присадки в смазочные масла.

Известные из литературы устройства для дозированного ввода присадок, предназначенные в основном для двигателей внутреннего сгорания, в большинстве случаев достаточно эффективны. Однако эти устройства имеют существенные недостатки (высокую стоимость, сложность конструкции и др.), что ограничивает их применение.

В работе предлагается новый метод дозированного ввода с помощью контейнера, высвобождение присадки, в котором осуществляется при помощи диффузии или гидродинамики. Выбор механизма высвобождения зависит от необходимой скорости дозированного ввода, которая в свою очередь, зависит от скорости срабатывания присадки в смазочном масле. Предложены теоретические исследования, позволяющие выбрать конструктивные параметры контейнера и установить взаимосвязь между некоторыми характеристиками поверхностей трения деталей машин с их износостойкостью. С помощью разработанной математической модели установлено, в частности, что интенсивность изнашивания обратно пропорциональна поверхностной плотности дислокаций, что было подтверждено экспериментально.

В результате лабораторных исследований на машине трения СМТ-1 была определена минимально допустимая концентрация присадки ДФ-11 в смазочных маслах И-Г-А-32, МГ-46-В, И-Г-С-32, величина которой составила 0,4% от объема. Дальнейшее уменьшение концентрации присадки приводит к резкому увеличению изнашивания. Кроме того, было подтверждено повышение износостойкости образцов, работавших на машине трения СМЦ-2, имитирующих работу подшипников скольжения, в среде, в которой поддерживалась концентрация противоизносной присадки ДФ-11 на уровне 0,4% (в среднем в 1,52 раза) и понижение коэффициента трения (в среднем в 1,36 раза). Это обусловлено тем, что противоизносная присадка способствует упрочнению поверхностей (повышается плотность дислокаций в приповерхностной зоне в среднем в 1,64 раза).

Установлена закономерность срабатывания противоизносной присадки ДФ-11 в рабочей жидкости И-Г-С-32 при ее эксплуатации в гидроприводах, содержащих значительное количество подшипников скольжения (насосы, направляющие и т.п.). На основании этой закономерности были рассчитаны параметры контейнеров, которые были изготовлены и установлены в гидроприводы соответствующих станков.

Сравнительные эксплуатационные испытания с контейнерами показали, что в сравнении с контрольными (серийными) гидроприводами станков при дозированном вводе присадки ДФ-11 износостойкость узлов трения, в частности подшипников скольжения, повышается (в том числе, насосов по скорости падения объемного КПД в среднем в 2,6 раза, по наличию железа в рабочей

жидкости в среднем в 1,66 раза, по концентрации механических примесей неорганического происхождения – в среднем в 1,33 раза, по величине коэффициента противоизносных свойств рабочей жидкости – в среднем в 1,42 раза). Вместе с этим не менее, чем в 1,6 раза, повышается срок службы рабочей жидкости в гидроприводах до замены.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны практические рекомендации по повышению износостойкости подшипников скольжения и других узлов трения с помощью дозированного ввода противоизносной присадки ДФ-11.

Основные результаты работы нашли практическое применение на ОАО “Электромаш” г. Харькова.

Ключевые слова: подшипник скольжения, смазочное масло, присадка, контейнер, износ, износостойкость, узел трения.