

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ГОЛОВІНОВ Геннадій Георгійович

ФОРМУВАННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ  
КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ  
ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
ТЯГОВИХ ПРИВОДІВ ТЕПЛОВОЗІВ

Спеціальність - 05.22.07 - Рухомий склад залізниць  
і тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Луганськ - 1997

629.4 +  
629.424

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00738118 (S)

Дисертацією є рукопис.  
Робота виконана в Східноукраїні

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор  
Коняєв Олексій Миколайович.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Коротенко Михайло Леонідович.

доктор технічних наук, професор  
Бєляєв Анатолій Ілліч.

доктор технічних наук, професор  
Зарубицький Євген Улянович.

Провідна організація: Дніпропетровський державний  
технічний університет  
залізничного транспорту.

Захист відбудеться "1" 07 1997 р. о 14 годині на  
засіданні спеціалізованої ради Д 18.02.01 при Східноукраїнському дер-  
жавному університеті за адресою: 348034, м. Луганськ, кв. Молодіжний,  
20 а.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.  
Автореферат розіслан "29" 05 1997 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради

Ю.І.Осенін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ, АКТУАЛЬНОСТІ І СТУПЕНЯ ДОСЛІДЖЕНОСТІ ТЕМАТИКИ

Сучасні тенденції розвитку і технічного удосконалення залізничного транспорту передбачають збільшення секційної потужності і швидкості руху, що обусловлює підвищені вимоги до експлуатаційної надійності та довговічності вузлів і агрегатів рухомого складу. Важливе значення у вирішенні цих задач відводиться підприємствам і науковим організаціям України, яка є одним з крупніших виробників і експортерів магістральних локомотивів, полігон експлуатування яких розповсюдженій на усі кліматичні зони.

На підставі досвіду тривалої експлуатації встановлено, що значна частина пошкоджень екіпажної частини локомотивів викликана низкою триботехнічною ефективністю елементів тертя тягових приводів (ТП). В країні і за кордоном виконан великий обсяг досліджень в галузі вивчення макро і мікрогеометрії контактуючих тіл, методів аналізу і розрахунку трибосопряжень, фізико-хімічних процесів в поверхневих шарах, створення прогресивних трибоматеріалів та інших напрямках. Практична реалізація отриманих результатів ускладнюється багатьма факторами, пов'язаними зі специфікою експлуатації і технічного обслуговування локомотивів.

Дуже актуальною є проблема підвищення роботоздатності вузлів тертя (ВТ) тягових приводів в зимовий період, оскільки біля 70 % полігона експлуатації тепловозів в країнах СНД, відноситься до регіонів з холодним і помірним кліматом.

Теоретична і практична значимість триботехнічних розробок ґрунтується показниками для основних видів транспортних засобів, де витрати на ремонт в середньому за рік складають 10 ... 15 % від їх вартості, в процесі експлуатування 80 ... 85 % деталей виходять з ладу внаслідок інтенсивного зносу і задиру, а тільки обрахована доля витрат складає біля 2 % національного прибутку.

Одним з найбільш перспективних шляхів вирішення даної проблеми є інтенсифікація антифрикційних процесів в триботехнічних системах (ТС) тягових приводів, що забезпечує суттєве поліпшення техніко-економічних показників за рахунок зниження енергетичних утрат, витрачання дефіцитних трибоматеріалів, витрат на проведення поточних і позапланових видів ремонту.

В. Стефанюк  
АН УкрАкадемія наук

## МЕТА І ОСНОВНІ ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування, розробка і впровадження ефективних засобів формування антифрикційних процесів контактної взаємодії високонавантажених трибоелементів тягових приводів тепловозів, які експлуатуються в регіонах із жарким, помірним і холодним кліматом.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- дослідження механізмів трибологічного руйнування поверхні тертя, характеру пошкоджень і вплив визначальних факторів на роботоздатність елементів ТП в різних кліматичних умовах;

- розробка методики оцінки параметрів тертя і критеріальних характеристик серійних і дослідних трибосистем з урахуванням конструктивних особливостей, режимів функціонування і мастильного середовища;

- побудова моделей взаємодії високонавантажених елементів контактної зони і вплив основних триботехнічних характеристик на формування антифрикційних процесів в широкому діапазоні експлуатаційних режимів;

- розвиток методів трибоаналізу багатофункціональних поверхньо-активних компонентів, легуючих елементів, депресорних (низькотемпературних) присадок, мастильних матеріалів (ММ), які володіють покращеними в'язкісно-температурними, антифрикційними і службовими властивостями;

- обґрунтування ефективності застосування і оцінка впливу твердомасляних компонентів з дисульфідмолібденовою основою на інтенсивність утворення самовідбудовлюваних проміжних шарів, термічний стан і рівень збитків на тертя;

- моделювання і оптимізація процесів утворення регулярних мікрорельєфів збільшення маслоємності поверхні ковзання осі колпачка і формування стійких металомістких захисних плівок;

- дослідження процесів взаємодії депресорних композицій з мастильним середовищем і впливу антифризових модифікацій на граничні режими мастилоподачі і забезпечення стабільного режиму змащення вузлів тертя в низькотемпературних умовах експлуатації;

- розробка комплексу модельного і натурального стендового обладнання, експериментальна перевірка результатів теоретичного аналізу параметрів функціонування трибоелементів і запропонованих засобів зниження ушкоджень вузлів тертя ( ВТ );

- проведення порівняльних експлуатаційних випробувань серійних та дослідних триботехнічних систем в зонах помірних і екстремальних умов,

впровадження розробок в практику тепловозобудівельних підприємств і мережі залізниць.

## ОБГРУНТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ І ПРАКТИЧНОЇ ЦІННОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЙОГО НАУКОВОЇ НОВИЗНИ

Теоретична цінність дослідження полягає в отриманні науково обгрунтованих рекомендацій для розробки високоефективних засобів інтенсифікації антифрикційних процесів з урахуванням конструктивних, механічних, теплофізичних параметрів ТП і диференційного спектру триботехнічних характеристик мастильного середовища.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в можливості на підставі всебічного аналізу конструктивних особливостей, режимів функціонування, характеру переважних видів зноса і задирів, а також по результатах теоретико - експериментальних і експлуатаційних досліджень використовувати прогресивні науково - технічні рішення, які забезпечать ефективне формування антифрикційних процесів в триботехнічних системах ТП рухомого складу. Результати впровадження розробок на 22 залізницях по всіх зонах свідчать про практичну значимість виконаних досліджень. В техніко - економічному відношенні важливою є можливість реалізації основних положень і висновків дисертаційної роботи ( на рівні вінаходів ) без суттєвих конструкторсько - технологічних змін серійних вузлів тертя в процесі їх виробу і умовах експлуатації.

### Наукова новизна :

- розроблена методика розрахунково - теоретичного і експериментального аналізу трибосистеми "вузол тертя - ММ - оточуюче середовище" з урахуванням реологічних, адгезійних, в'язкісно - температурних і аномальних процесів;

- запропоновані математичні моделі, які описують вплив теплового режиму, п'єзокоефіцієнта мастильного середовища і геометро - кінематичних параметрів на несучу здібність високонавантажених трибоелементів ТП;

- отримані аналітичні залежності, виконан регресивний аналіз процесів подачі в зону тертя твердомастильного матеріала (ТММ) і утворення стійких металотримаючих мастильних шарів;

- введені уточнені параметри критеріальної оцінки граничних режимів тертя і кінетики їх зміни в залежності від навантаження контактної зони ТП, диференційованого спектру в'язкісно-температурних і антифрикційних властивостей мастильного середовища;

- вирішена задача оптимізації режимів вібронакатування по формуванню регулярного мікрорельєфу у вигляді синусоїдальної гармоніки, яка забезпечує раціональне співвідношення опорної поверхні тертя ковзання осі колпачка, її маслоємкості і несучої здібності плівки;

- визначені залежності впливу параметрів віброосциляції і критеріїв акумулювання мастильного середовища на кількісні і якісні характеристики пар тертя в галузі застосування сезонних типів мастил на мінеральній основі;

- обґрунтовані антифрикційний вплив і ефективна сумісність багатофункціональних поверхньо-активних діалкілдитіофосфатів і депресорних модифікацій зі штатними мастильними матеріалами з низьким індексом в'язкості;

- виявлений ефективний в низькотемпературних умовах вплив подачі етиленгліколевої основи в систему мастилопостачання на процеси інтенсифікації і транспортування мастильного середовища в контактну зону і утворення стійких граничних плівок;

- розроблений і захищений авторським свідоцтвом засіб зниження утрат на тертя шляхом попередження за допомогою етиленгліколевих модифікацій процесу спонтанного утворення активних ядер кристалізації неравновісної обводненої фази мастильного середовища і стабілізації режиму змащування в зоні низьких температур;

- запропоновані науково-практичні рішення, в тому числі на рівні винаходів, з реалізації комплексного підходу до формування антифрикційних процесів за рахунок раціонального використання поверхньо-активних компонентів, депресорних присадок і композицій, металомістких елементів, трибоматеріалів спеціального призначення, прогресивних засобів їх впровадження.

## РІВЕНЬ РЕАЛІЗАЦІЇ, ВПРОВАДЖЕННЯ НАУКОВИХ РОЗРОБОК

Основні положення дисертаційної роботи і розроблена методика оцінки параметрів тертя серійних і дослідних трибосистем тягових приводів використовуються ВНДТІ (Росія, м. Коломна) і ДХК "Луганськтепловоз" при створенні нових і модернізації локомотивів, які знаходяться в експлуатації.

Легирувані штатні і дослідні мастильні матеріали із поліпшеними в'язкісно-температурними і антифрикційними властивостями впроваджені на БАМі, Донецькій, Львівській і Північній залізницях на 68 секціях магістральних тепловозів.

Твердомастильні компоненти в системі змащення ТП впроваджені на Донецькій, Середньоазіатській, Свердловській і Північній залізницях на 1300 секціях.

Тягові електродвигуни з вібронкатаними осями колесних пар впроваджені на Алма-Атинській, З-Казахстанській, Приволзьській і Середньо-азіатській залізницях (15 секцій).

Депресорні модифікації впроваджені на С-Сибірській, Горьківській, Далекосхідній, Забайкальській, З-Сибірській, Казахстанській, Середньо-азіатській, Свердловській, Північній і П-Уральській залізницях на 2000 секціях тепловозів.

Річний економічний ефект від впровадження результатів досліджень складає 2850 гривнів на одну секцію локомотива. Обсяг впровадження виконаних науково-дослідних розробок може бути значно розширений за рахунок їх практичної реалізації в інших галузях промисловості.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи використовуються в учбовому процесі при навчанні студентів за фахом 7.090.202 і 7.090.225 в Східноукраїнському державному університеті.

#### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АПРОБАЦІЮ І ПУБЛІКАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ, СТРУКТУРУ ТА ОБСЯГ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні положення і результати дисертаційної роботи докладались і обговорювались на Республіканських, Всесоюзних і Міжнародних науково-технічних конференціях: "Керування надійністю машин" (м.Київ, 1978 р.); "Створення локомотивів великої потужності і підвищення їх технічного рівня" (м.Ворошиловград, 1981 р.); "Пластичні мастила" (м.Бердянськ, 1985 р.); "Створення і технічне обслуговування локомотивів великої потужності" (м.Ворошиловград, 1985 р.); "Забезпечення надійності вузлів тертя машин" (м.Ворошиловград, 1988 р.); "Наукові досягнення і дослід галузей машинобудування - народному господарству" (м.Харків, 1990 р.); "Проблеми розвитку локомотивобудування" (Крим, 1993 р.); "Проблеми транспорту та шляхи їх вирішення" (м.Київ, 1994 р.); "Автоматизація проектування і створення виробів в машинобудуванні" (м.Суми, 1995 р.); "Проблеми розвитку локомотивобудування" (м.Алушта, 1995 р.); "Проблеми механіки залізничного транспорту" (м.Дніпропетровськ, 1996 р.), а також на наукових семінарах і науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Східноукраїнського державного університету (м.Луганськ, 1980 ...1996

рр.), Донбаської державної машинобудівної академії ( м.Краматорськ, 1997 р.) і Сумського державного університету, 1997 р.).

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 49 наукових робіт, в тому числі, одна монографія.

Дисертація складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Вона містить 260 сторінок друкованого тексту, 107 малюнків і таблиць, 299 найменувань літературних джерел.

#### ДЕКЛАРАЦІЯ КОНКРЕТНОГО ОСОБИСТОГО ВНЕСКУ ДИСЕРТАНТА У РОЗРОБКУ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ, ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ЗАХИСТ

Дисертантом виконані основні етапи-висунутих завершених комплексних досліджень:

- розробка методики розрахунково-теоретичної і експериментальної оцінки параметрів тертя серійних і дослідних антифрикційних трибоелементів і систем ТП для різних кліматичних зон, в тому числі, екстремальних режимів;

- відповідно до критеріальних характеристик визначені раціональні конструктивні, механічні, теплофізичні параметри і режими надійного функціонування трибосистеми "вузол тертя - ММ - оточуюче середовище" в широкому діапазоні температур, швидкостей та навантажень;

- вирішена задача підвищення мастилоємкості контактної зони шляхом формування і оптимізації режимів віброосціляції регулярного мікрорельєфу осей колесних пар;

- виконан порівняльний трибоаналіз в'язкісно-температурних, антифрикційних і службових характеристик штатних ММ і дослідних зразків, дана оцінка сумісності легуючих елементів і робочих мастильних композицій;

- встановлені критерії триботехнічної ефективності в системі змащення ТП високомолекулярних багатофункційних діалкілдітіо-фосфатів, ТММ - компонентів, дослідних зразків мастил, а також етиленгліколевих депресаторів в низькотемпературних умовах;

- розроблені раціональні заходи стабілізації режиму змащення і підведення в зону контакту трибоелементів ТП мастильного середовища, яке містить твердомастильні матеріали, поверхнево-активні присадки і депресорні модифікації;

- наукові результати досліджень і запропоновані технічні рішення захищені авторськими свідоцтвами і практично реалізовані при будівництві і модернізації рухомого складу на мережі залізниць.

Автор висловлює велику подяку працівникам підприємств і організацій за надання науково-практичного сприяння при проведенні досліджень і впровадженні розробок.

### ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОЛОГІЇ, МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТА І ОБ'ЄКТА

Оптимізація параметрів тертя і оцінка впливу основних факторів на триботехнічну ефективність ТП виконувалась за допомогою методів математичного опису процесів шляхом реалізації планів першого і другого порядків. Дослідження антифрикційних характеристик і режимів функціонування трибоеквентів проводились із застосуванням теорії подібності і методів моделювання процесів, узагальнені параметри яких подавались в критеріальній формі у вигляді симплексів моделі та натурального вузла.

Для визначення механо-фізико-хімічних характеристик ТС в зоні низьких температур як хладагентне обладнання використовувалась камера холоду TV - 1000 "ЕВЕНАКО" (Німеччина), що дає змогу підтримувати температуру оточуючого середовища з високоточною фіксацією до мінус 60 С.

Результати досліджень контролювались і оброблялись із використанням теоретико-ймовірностного аналізу дослідних даних. Систематичні помилки результатів виявлялись і усувались відповідною настройкою вимірювального комплексу. Визначення і виключення випадкових помилок виконувалось із застосуванням довірчої оцінки емпіричного стандарту.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується задовільною збіжністю результатів розрахунково-теоретичного аналізу і експериментальної перевірки на модельному та натурному обладнанні, а також даними експлуатаційних іспитів і впроваджень.

### ЗМІСТ РОБОТИ

У введенні обгрунтована актуальність теми дисертації, доведена структура і загальна характеристика, сформульовані наукова і практична значимість досліджень.

Перший розділ присвячен огляду досліджень в країні і за кордоном, обгрунтуванню цілей і задач дисертаційної роботи.

Проблемі удосконалення потужних і вагомих характеристик екіпажів залізничного транспорту присвячені труди відомих вчених: А.І.Беляєва, А.Л.Голубенка, А.С.Євстратова, В.Н.Іванова, І.П.Ісаєва, А.Н.Коняєва, М.Л.Коротенка, А.А.Камаєва, С.М.Куценка, А.Я.Когана, В.А.Лазаряна, М.М.Машньова, Н.А.Малозьомова, Ю.І.Осеніна, М.П.Пахомова, А.Н.Савоськіна, Е.Д.Тартаковського, Н.А.Фуфрянського, В.А.Четвергова та ін.

В галузі трибоніки актуальні задачі вирішені А.С.Ахматовим, О.І.Богдановим, Н.А.Буше, І.Е.Віноградовою, Н.Д.Гаркуновим, Н.Д.Гоголю, Б.В.Дерягіним, Ю.Н.Дроздовим, Н.Б.Дьомкіним, Ю.А.Євдокімовим, А.Ю.Ішлінським, І.В.Крагельським, Б.І.Костецьким, Д.С.Кодніром, М.В.Коровчинським, Л.М.Кулієвим, Ю.М.Лужновим, Р.М.Матвєєвським, Г.Д.Меркур'євим, Н.М.Міхіним, А.І.Петрусевичем, А.С.Проніковим, М.В.Райко, Ю.А.Розенбергом, П.А.Рєбіндером, Л.Н.Сентюріхіною, Ф.П.Снеговським, А.А.Старосельським, К.В.Фроловим, М.М.Хрущовим, І.Г.Цурк'юном, Н.І.Чорножуковим, А.В.Чічінадзе, Ю.Г.Шнейдером, Ф.Барвеллом, Ф.Боуденом, Г.Бекманом, А.Зоммерфельдом, А.Камероном, Ф.Майснером, О.Рейнольдсом, А.Тейборсом, Н.Тіпеєм, Р.Фінном, Г.Фогельполем та іншими.

Питанням удосконалення важливіших характеристик ТП надається великої уваги в частині конструкторсько-технологічного спрямування і в значно меншій мірі - комплексному вивченню, створенню і підвищенню ефективності антифрикційних триботехнічних систем, які забезпечують надійну роботу рухомого складу в широкому діапазоні навантажень, швидкостей і кліматичних умов.

Одним з найбільш відповідальних елементів екіпажної частини локомотивів є триботехнічні системи, експлуатація яких здійснюється вкрай несприятливих умовах внаслідок високих динамічних навантажень від впливу шляху, значних коливань температур навколишнього середовища і недосконалої системи змащування. Функціонування високонавантажених вузлів тертя колесно-моторних блоків (КМБ) ускладнюється в період зимової експлуатації у районах помірного і холодного клімату, коли конструктивні і експлуатаційні фактори обумовлюють збільшення утрат потужності на тертя, інтенсивний знос і зниження моторесурсу трибосопряжень.

Наявні розрахунково - теоретичні і експериментально - аналітичні методи по визначенню параметрів тертя і критеріальних характеристик відбивають переважно фундаментальні трибологічні принципи і не розглядають важливі стадії процесів, обумовлених специфікою функціонування трибоелементів ТП, що є стримуючим

фактором в проблемі дослідження і формування антифрикційних процесів в зоні високонавантаженого контакту, в тому числі, в режимі недосконалого мастила.

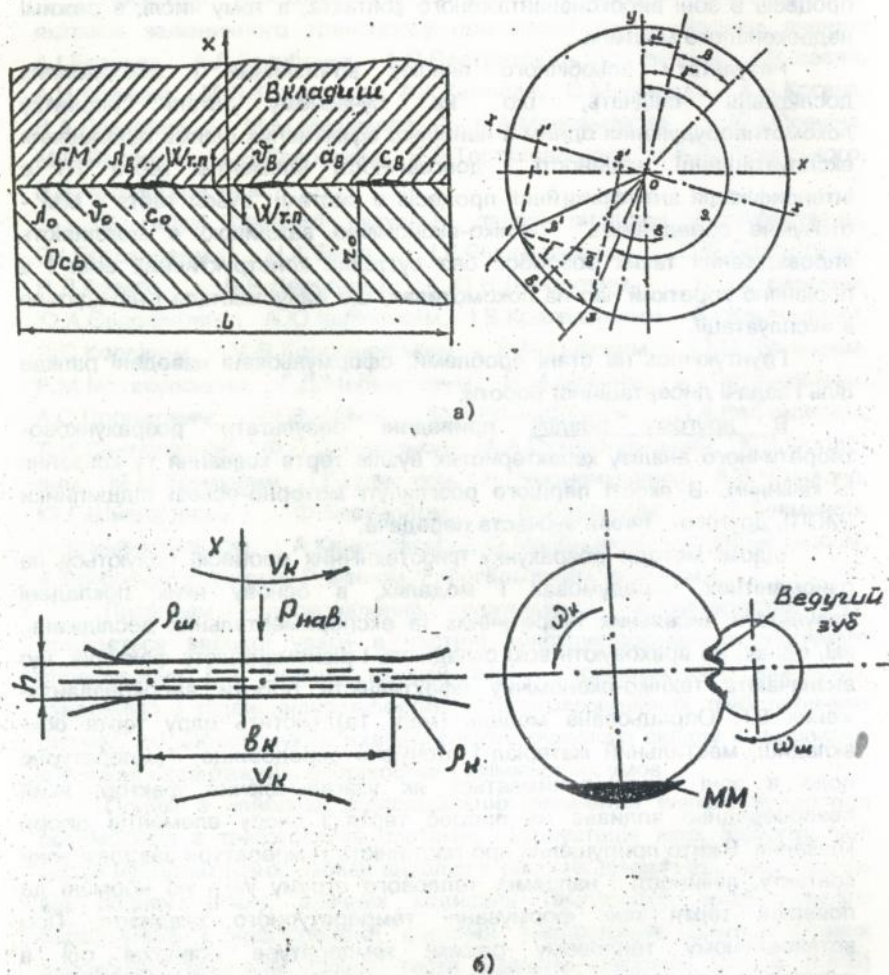
Результати всьобічного аналізу вітчизняних і закордонних досліджень свідчать, що на сучасному етапі розвитку локомотивобудування одним з найбільш ефективних шляхів підвищення експлуатаційної надійності і довговічності елементів тертя ТП є інтенсифікація антифрикційних процесів в системі "вузол тертя - ММ - оточуюче середовище". Техніко-економічно важливою є можливість впровадження таких розробок без суттєвих конструктивних змін і в порівняно короткий час на локомотивах, що випускаються і знаходяться в експлуатації.

Грунтуючись на стані проблеми, сформульовані наведені раніше ціль і задачі дисертаційної роботи.

В другому розділі приведені результати розрахунково-теоретичного аналізу характеристик вузлів тертя ковзання та ковзання із качінням. В якості першого розглянуті моторно-осьові підшипники (МОП), другого- тягова зубчаста передача.

Відомі методи розрахунку триботехнічних процесів базуються на різноманітних передумовах і моделях, в основу яких покладені результати чисельних теоретичних та експериментальних досліджень, які, однак, не враховують всю складність і різноманітність факторів, що визначають техніко-економічну ефективність роботи високонавантажених ВТ. Опрацьована модель (мал. 1а) містить пару тертя ось-вкладиш, мастильний матеріал і оточуюче середовище. Температурне поле в зоні тертя приймається як узагальнюючий фактор, який безпосередньо впливає на процес тертя і зносу елементів опори ковзання. Вжито припущення про постійність температури завдовж зони контакту, лінійності і напрямку теплового струму  $W_{T,П}$  по нормалі до поверхні тертя при формуванні температурного градієнта. При встановленому тепловому режимі температура поверхні осі в окружному і радіальному напрямках, а також в'язкість в будь якій крапці мастильного шару приймаються  $\vartheta_0$  і  $\mu = \text{const}$ .

Процес діSSIPАЦІЇ теплового струму із мастильного резервуару польстерної системи змащення в оточуюче середовище описується залежністю



Мал. 1. Моделі пар тертя ковзання (а) та ковзання з качінням (б).

$$W = \frac{S_c [(0,466 \vartheta_{o.c} + 8,5) - \vartheta_{o.c}]}{\Sigma \quad 1/\alpha_m + \delta_c / \lambda_m + 1/\alpha_c}$$

де  $S_c$  - площа тепловідводящої поверхні;  $\vartheta_{o.c}$  - температура оточуючого середовища;  $c_m, \alpha_c$  - коефіцієнт тепловіддачі мастила і стінок;  $\delta_c$  - товща стінки;  $\lambda_m$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу резервуара.

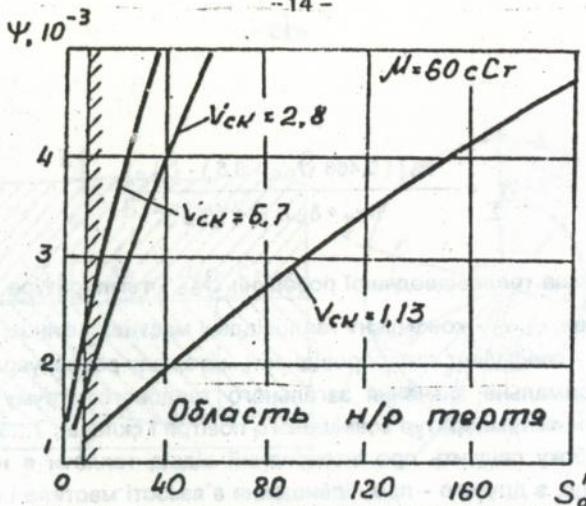
Максимальне значення загального теплового струму відповідає зчті мінусових температур зовнішнього повітря і складає 7...35 кВт., що з одного боку свідчить про інтенсивний відвід теплоти в навколишнє середовище, з другого - про підвищення в'язкості мастила і пов'язаним з цим зниженням мастилоподачі в зону тертя. Величина несучої спроможності опори ковзання в режимах рідинного-напіврідинного видів тертя, виражене через приведені критерій характеристикного числа Зоммерфельда, получена у вигляді

$$S_0' = \frac{\psi^2 P}{\Sigma} \mu_r^{\alpha_p} \omega_0 [S_{оп} - b_0 l_0 | \cos(\varphi - \alpha + \arcsin \frac{b_0}{d_b}) |],$$

де  $P_{\Sigma}$  - сумарне навантаження;  $\psi$  - відносний радіальний зазор;  $\omega_0$  - кутова швидкість;  $\mu_r$  - динамічна в'язкість з умов тиску  $p$ ;  $\alpha_p$  - пьезокоефіцієнт;  $S_{оп}$  - площа опорної поверхні;  $b_0, l_0$  - геометричні параметри мастильного вікна;  $\varphi, \alpha$  - кути, які враховують напрям дії навантаження;  $d_b$  - діаметр вкладиша.

Одержані результати виявляють (мал.2), що обмеження реалізації рідинного тертя в підшипнику ковзання пов'язана із побудовочними зазорами на "мастило", величина яких перевищує оптимальні, а також з недостатньою в'язкістю мастильного середовища, яка знижує несучу здібність мастильного шару.

В процесі експлуатації деформації конструктивних елементів і збільшення радіальних зазорів в опорах тертя ковзання, яке обусловлене накопиченим спрацьовуванням, призводять до перекоосу осей зубчастої передачі і нерівномірному розподіленню навантаження в зоні зачеплення, при цьому зниження утрат в парах тертя ковзання з кацінням визначається стійкістю мастильних шарів під впливом



Мал.2. Вплив режимів роботи на реалізацію напіві,инного тертя .

розтягуючих напруг від торкаючих сил при відносному переміщенні контактуючих поверхнь. На всіх серіях локомотивів, незалежно від напрямку руху, захоплення мастила і подача в контактну зону тягової передачі здійснюється веденим колесом, причому непрацюючою боковою поверхнею зуба, що негативно відбивається на режимі змащення ТП. Основні втрати потужності для зовнішнього тертя евольвентного зачеплювання, які характеризуються різницею швидкостей шестерні, колеса й зростають в міру того, як зміщується крапка контакту від полюса зачеплення. При порушенні теплового балансу можливо застосування ММ меншої в'язкості, або введення ефективних присадок, а використання більш в'язкого мастила викликає збільшення енергетичних витрат і температури трибосистем.

Розрахунок вузлів тертя ТП по відомим методикам справедливий в обмеженому діапазоні і не урахує ряд важливих характеристик, пов'язаних з навантажувально-швидкісними і температурними режимами роботи, в тому числі, в екстремальних умовах. В запропонованій розрахунковій моделі (мал.1 б) передбачені певні допущення і обмеженості. Мазильне середовище приймається за неньютонівську рідину, радіус пружного контакту прирівнюється до радіусу герцевського майданчика. Початкові умови записуються у вигляді  $\vartheta_i = 0$  при  $\tau = 0$ , тобто вся маса мазильного середовища, яка стикається з поверхнею зубів, має постійну температуру при нульовому

моменті часу, а кількість відведеного тепла не залежить від об'єму подаючого ММ, доки він не стане менш потрібного відповідно із загальним тепловим балансом.

Виконання умов  $\partial \theta_1 / \partial x = 0$  при  $x = h$  відповідає відводу тепла мастильним шаром певної площі по висоті зуба. При урахуванні термічного фактора приймається повний розділ зубів мастильною плівкою. Розглядається, що кількість мастильного середовища, яке поступає в зону зачеплення, відповідає об'єму геометричного простору, а надмір ММ видавлюється з боку торців зубів. Якщо в'язкісні і антифрикційні властивості мастила близькі до оптимальних, то ця умова буде відповідати реалізації рідинного тертя. Защемлення ММ початково відбувається в западені зуба по лінії зачеплення до мінімального значення. Частина мастила, яка залишилась в западені і зазорі, виконує мастильну і демпфіруючу функції. Вплив адгезійних властивостей ММ носить тут подвійний характер. З одного боку, вони сприяють формуванню стійкої мастильної плівки, з другого - підвищують збитки на внутрішнє тертя. "Чисте" качіння поверхні зубів в полюсі зачеплення є ідеалізованим випадком, коли тіла в зосередженому контакті мають однакові швидкості і тягові зусилля на мастильну плівку не діють.

Згідно прийнятій схемі для герцевського майданчика час витікання мастила складає

$$\tau_{cm} = 2 (8PR' / E' \pi)^{1/2} v_k^{-1},$$

де  $P$  - погонне навантаження;  $R'$  - приведений радіус кривини;  $E'$  - приведений модуль пружності;  $v_k$  - швидкість качіння.

Аналітична оцінка свідчить, що при відносному переміщенні поверхні зубів величина  $\tau_{cm}$  інтенсивно знижується уже в діапазоні швидкостей руху тепловозу до 10...15 м/с, порушуючі стабільний режим змащування при важких режимах роботи ТП.

В рамках запропонованих моделей і на підставі адгезійної характеристики товща мастильного шару, який утримується на поверхні зубів, визначається по залежності

$$h_{ад} = 1,4 \sqrt{A - B \lg T} \left( \frac{1}{\sqrt{\omega_{ш}^2 \tau_{Zш}}} + \frac{1}{\sqrt{\omega_k^2 \tau_{Zк}}} \right),$$

де  $A, B$  - постійні величини для кожного гатунку мастила;  $T$  - абсолютна температура;  $\omega_{ш}, \omega_{к}$  - кутові швидкості шестерні і колеса;  $\tau$  - періодичність попадання мастила на зуб;  $Z_{ш}, Z_{к}$  - кількість зубів шестерні і колеса.

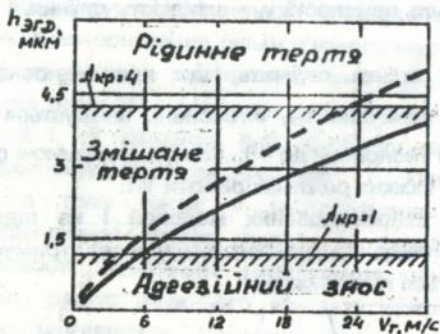
Величина  $h_{ад}$  враховується для обох зубів, що зачіпляються на всьому спектрі швидкостного режиму згідно з в'язкісно-температурною залежністю мастильних матеріалів. Характер зміни  $h_{ад}$  свідчить про різке утонення шара мастила і збільшення швидкості руху тепловоза. Для штатних сезонних мастил понад  $v_T = 15$  м/с величина  $h_{ад}$  досягає мінімальних значень.

Вплив еластогідродинамічного шару та його деградації на протизадирну стійкість розглянуто з використанням безрозмірного показника питомої товщі мастильного шару

$$\lambda_{кр} = 2 h_{эгд} / (s_{ш} + s_{к}),$$

де  $s_{ш}, s_{к}$  - середня квадратична шорсткість поверхні шестерні і колеса.

Критеріальна оцінка режимів тертя по питомій товщі ЕГД-шару, вивчена з врахуванням адгезійних і реологічних властивостей мастильного середовища, показала (мал. 3), що зона змішаного тертя при установленому температурному режимі містить швидкісний діапазон 5...20 м/с.



Мал. 3. Залежність режимів тертя від питомої товщі мастильного шару.

При швидкостях руху тепловоза, які не перевищують нижній рівень, в зубчастом зачепленні реалізується граничне, а при перевищенні верхнього - рідинне тертя. У зв'язку з обмеженою зоною гідродинамічного режиму тертя для підвищення ресурса і надійності тягової передачі виконан комплекс науково - пошукових робіт по створенню і застосуванню легірованих ММ із заданими мастильними і експлуатаційними властивостями для роботи в різних кліматичних зонах.

В третьому розділі наведені результати трибоаналізу по оцінці в'язкісно - температурних і антифрикційних характеристик серійних, легірованих і дослідних мастильних матеріалів.

Для створення перепаду механічних параметрів в зоні фрикційного контакту, зниження збитків на тертя і забезпечення ефективної мастильної дії здійснені комплексні дослідження по застосуванню у важконавантажених опорах ковзання твердомастильного середовища. З урахуванням конструктивних особистостей, умов експлуатації локомотивів, а також на підставі результатів попередніх досліджень в якості ТСМ в системі змащування МОП прийнят дисульфід молібдена ( $\text{MoS}_2$ ), який володіє комплексом важливих властивостей для роботи за умов високих навантажень, в широкому діапазоні температур, в агресивних середовищах. Експериментальна перевірка триботехнічної ефективності використання  $\text{MoS}_2$  виконувалась із застосуванням теорії і методів моделювання процесів, узагальнені характеристики яких наводились в критеріальній формі моделі і натурного вузла у вигляді симплексів  $\pi_n / \pi_m = C_d$  і масштабного коефіцієнту переходу  $P_m = P_n C$ .

Розглянуті такі константи подібності:  $\tau_m = \tau_n$  - часового;  $v_m = v_n$  - швидкості ковзання;  $P_m = P_n / C_1^2$  - навантаження;  $p_m = p_n C_1$  - частоти обертання осі;  $f_m = f_n$  - коефіцієнта тертя;  $\vartheta_m = \vartheta_n$  - температури в зоні тертя;  $p_m = p_n$  - питомого тиску;  $\alpha_m = \alpha_n$  - тепловіддачі;  $\lambda_m = \lambda_n / C_1$  - теплопровідності. На спеціальній модельній установці розроблен засіб введення  $\text{MoS}_2$  в зону тертя шляхом обробки середніх гнотів польстерного пакету, що сприяє зниженню сили тертя, при цьому з підвищенням режиму навантаження ефект посилюється.

Для оцінки впливу основних факторів на оптимізацію процесу формування стійких металомістких плівок виконан аналіз математичної моделі шляхом реалізації некомпозиційного плану другого порядку. Як

параметр оптимізації прийняте критичне передзадірне навантаження  $R_{кр} = f(h, c, n)$ , де фактори:  $h$  - глибина насичення гнотів;  $c$  - співвідношення об'ємів  $MoS_2$  і осьового мастила;  $n$  - кількість оброблених гнотів.

По ходу проведення експеримента контрольні заміри виконувалися на створеному спеціальному натурному стенді. Перед кожним циклом досліджень проводився попередній приробіток пари тертя до стабілізації температурного режиму і моменту тертя.

Математична модель у вигляді апроксимуючого полінома другого порядку після визначення коефіцієнтів приймає вигляд

$$\hat{y} = 170,173 + 6,7x_1 - 15,313x_2 + 3,798x_3 + 12,005x_1x_3 + 1,25x_2x_3 - 0,465x_1^2 + 1,52x_2^2 - 3,38x_3^2.$$

Аналіз рівняння регресії показує статистичну вагомість усіх трьох факторів і двох ефектів їх взаємодії. Встановлення факторів  $x_1$  та  $x_2$ , які чинять протилежний вплив на параметр оптимізації, відповідно на верхньому і нижньому рівнях, сприяє підвищенню несучої здатності вузла тертя.

В практиці застосування трибоматеріалів актуальною є проблема нового підходу до розробки мастил до конкретних умов роботи вузлів тертя. Об'єктом досліджень були серійні осьові мастила "літнє" і "зимове", а також дослідні зразки БОНМЗ № 1, БОНМЗ № 2, БОНМЗ № 3, розроблені на підставі аналізу конструктивних особливостей і умор експлуатації, а також результатів попередніх досліджень поверхневих і об'ємних властивостей мастильних матеріалів з метою забезпечення відповідного рівня хіміко-фізичних і антифрикційних характеристик.

Додатково досліджені як легіруючі компоненти багатофункційні присадки типу диалкілдитіофосфатів барія (ДТФБ) і цинка (ДТФЦ). Стійкість адсорбованих плівок проти стирання в значній мірі залежить від температури в зоні тертя, оскільки при  $\vartheta \approx 200^\circ\text{C}$  відбувається порушення орієнтації молекул, пов'язане із зниженням сили поздовжньої когезії, і адсорбовані плівки втрачають свої захисні властивості. В той же час, підвищення тиску в контактній зоні підшипника сприяє підвищенню температури спалаху мастил. Вжигання ММ з високим індексом в'язкості в певних умовах є недоцільно, так як вони мають низький п'єзокоефіцієнт в'язкості.

Антифрикційні поверхнево-активні присадки включають жирні, смоляні і нафтонові кислоти, які містять карбоксильну групу. Вказані компоненти внаслідок їх хімічної активності здібні визивати підвищений знос елементів ТС, тому склад ММ повинен передбачати оптимальні співвідношення. Зіставлення результатів експеримента свідчать, що найбільші величини коефіцієнта тертя  $f$  відносяться до серійних мастил "Л" і "З". Кращими показниками володіють зразки БОНМЗ №1, БОНМЗ № 2, БОНМЗ № 3 в черзі їх переліку, при цьому по мірі збільшення режиму навантаження ефективність їх дії зростає.

Відносно доцільності застосування багатофункційних присадок необхідно відзначити, що в процесі експлуатування відбувається виснаження присадок в мастилі внаслідок витрат на утворення продуктів взаємодії з матеріалами пари тертя ось-вкладиш, впливу температур і навколишнього середовища. Вказані фактори негативно відбиваються на функціонуванні вузла тертя, тому легірування штатних мастил присадками ДТФБ і ДТФЦ, які є активаторами хлормістких компонентів, дає змогу покращити мастильні і службові властивості осьових мастил.

Дослідження приробітних властивостей ММ проводились на спеціально розробленій лабораторній установці, яка дає змогу фіксувати в якості контрольних параметрів коефіцієнт тертя і лінійний знос зразків. Для виключення недоліків, притаманних машинам тертя Амслера, в модернізованому варіанті навантажуючий пристрій обладнано гідрокамерою з плунжерною парою і електродвигуном постійного струму, встановлені додаткові блокуючі та запобіжні пристрої, індикатори для виміру зносу без демонтажу ВТ.

Величина  $f$  за установленими режимами в урівноваженому стані пар тертя визначалась із відношення

$$f = P_{ур} / P_{тр} d_v$$

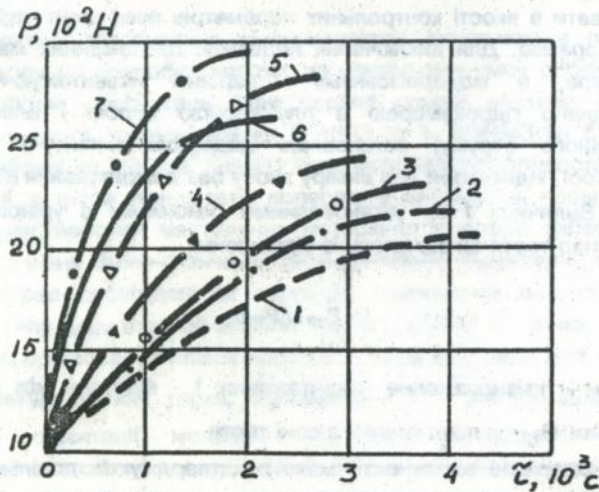
де  $P_{ур}$  - урівноважене навантаження;  $l$  - відстань між осями вала і вантажа;  $P_{тр}$  - навантаження в зоні тертя.

Одержані залежності (мал.4) підтверджують доцільність процесу приробітку опори ковзання по припущеним швидкості зростання і рівню навантаження замість попередньо регламентованого режиму, при цьому вони будуть близькі до оптимальних значень, які відповідають несучим здібностям підшипника. По всім розглянутим

показникам дослідні мастильні матеріали типа БОНМЗ і серійні, легірованні диалкілдігіофосфатами, перевищують штатні сезонні мастила.

Невідповідність редукторних мастил до пред'явлених вимог викликає необхідність в коректуванні рецептурного складу, розробці нових типів ММ з покращеними мастильними, службовими і екологічними показниками. Експериментальна перевірка містила серійні мастила ТАп - 15 В, трансол 200, штатну СТП-Л, а також дослідні зразки СТП-У № 1, СТП - У № 2, СТП - У № 3, СТП - У № 4, СТП - У № 5 і СТП - У № 6, розроблені для тягових передач локомотивів, які експлуатуються в умовах помірних температур зовнішнього середовища.

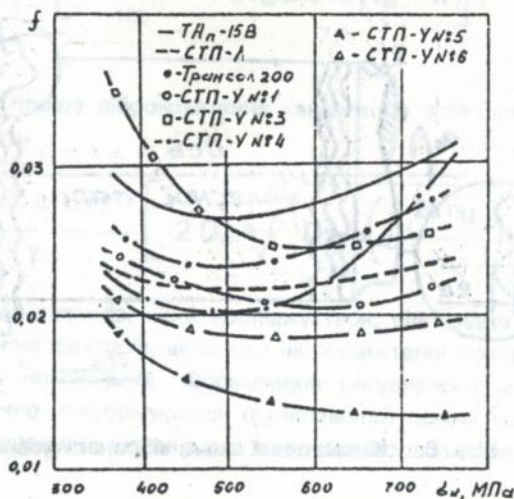
В результаті досліджень виявлена відсутність корозійного впливу дослідних ММ (за винятком СТП - У № 2), що має важливе значення в умовах експлуатації, де вони підлягають періодичному або постійному обводненню. По логарифмічній номограмі в'язкістно-температурної характеристики встановлена перевага мастил СТП - У № 5 і СТП - У № 6.



Мал.4. Інтенсивність процесу приробітку пари тертя:

- 1 - "Л"; 2 - "З"; 3 - "Л" з присадками; 4 - "З" з присадками;
- 5 - БОНМЗ № 3; 6 - БОНМЗ № 2; 7 - БОНМЗ № 1.

Порівняльна оцінка антифрикційних властивостей ММ для матеріалів натурних зразків шестерні і зубчастого колеса ТП також показала максимальне зниження величини коефіцієнта тертя до визначених вище мастил ( мал. 5). Аналогічні результати отримані при визначенні протизносних властивостей у режимі ковзання, що дає підставу рекомендувати дослідні трансмісійні мастила СТУ - У № 5 і СТП - У № 6 до експлуатаційних випробувань.

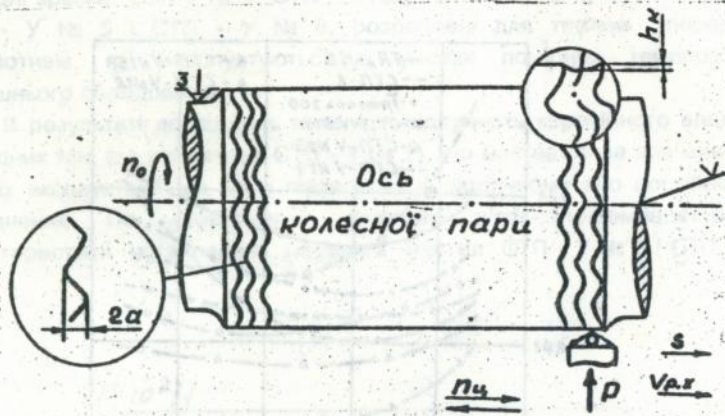


Мал. 5. Залежність коефіцієнта тертя від параметра навантаження.

В четвертому розділі містяться результати досліджень по формуванню і оптимізації процесу підвищення маслоємкості поверхні ковзання осі колпари за рахунок утворення регулярних мікрорельєфів.

На параметри тертя і розподіл мастила в зоні контакту опори ковзання зокрема температурного і навантажно-швидкісного режимів чинять також вплив фактори, пов'язані з розмірами, формою і взаємним розташуванням мікронерівностей поверхні тертя. Складність вибору оптимальної макро і мікрогеометрії осі колесної пари і вкладишів

полягає в протиріччі мастильних і геометричних характеристик, коли при більшій шорсткості поверхнь, що труться, їх маслоємкість підвищується, але при цьому знижується опорна поверхня пари тертя. Основною схемою мікрорельєфа до осей колпар тепловозів прийнята симетрична регулярна синусоїдальна гармоніка (мал. 6), яка задовольняє раціональному поєднанню вимог контактної взаємодії і змащення елементів опори ковзання, відносно простому технологічному процесу обробки в заводських і деповських умовах.



Мал. 6. Кінематична схема вібронакатування.

Як ісходні кінематичні параметри прийняті:

$a$  - розмах осциляції;  $s$  - поздовжня подача;  $P$  - зусилля вібронакатування;  $r_{\text{ш}}, d_{\text{ш}}$  - радіус і діаметр вібронакатної кулі;  $h_k$  - глибина мастилоуловлювальної канавки;  $n_0$  - частота обертання осі;  $n_{\text{ц}}$  - кількість циклів осциляції на одиницю часу;  $R_0, D_0$  - радіус і діаметр осі колпар;  $\alpha$  - центральний кут;  $l$  - крок канавки;  $r_k, d_k$  - радіус і діаметр плями контакту;  $h_s$  - глибина проникнення пластичної деформації.

Зусилля вібронакатування пов'язане із контактними параметрами залежністю

$$P = \frac{HB \pi d_{\text{ш}}}{2} \left( d_{\text{ш}} - \sqrt{d_{\text{ш}}^2 - (d_{\text{ш}} \sin \alpha / 2)^2} \right)$$

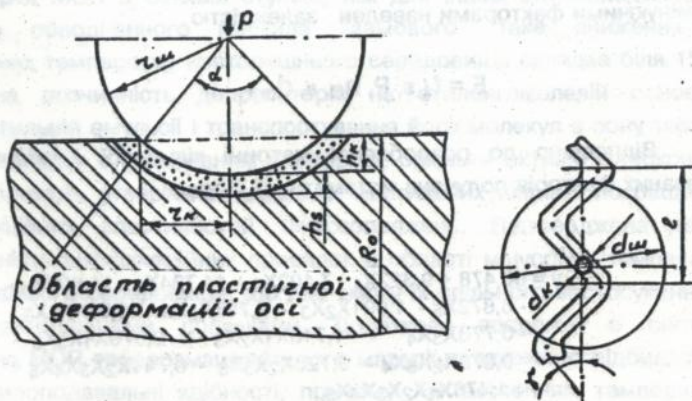
Деформуючі елементи з малим радіусом, які розвивають високі питомі тиски, ефективні за обробкою нетвердих заготовок, однак їх застосування ускладнює конструкцію вібронакатного пристрою. Зі збільшенням діаметру кулі площа його контакту із осью зростає з одночасним зниженням питомих тисків. Площа перерізу кулі по глибині укорінювання визначається із виразу

$$S_{\text{ш}} = 0,5 \left[ \frac{\pi \Gamma_{\text{ш}}^2 \alpha}{180^\circ} - 2 \Gamma_{\text{ш}} \sin \alpha / 2 (\Gamma_{\text{ш}} - h) \right].$$

Загальна площа вібронакатаних канавок по всій довжині шийки буде дорівнювати

$$S_{\text{к}} = \frac{2 \pi L \sin \alpha / 2}{3 s} \left[ 2 D_0 \sqrt{D_0^2 + \left( \frac{2a n_{\text{ц}}}{n_0} \right)^2} \right].$$

В діапазоні режимів, який досліджується, відповідно основному рівню вар'ювання факторів, величина вібронакатаної поверхні складає біля 25 % від номінальної. Формування регулярного мікрорельєфу містить пластичне деформування поверхневого шару матеріалу осі колпари, розташованого нижче рівня мікронерівностей ісходної поверхні (мал. 7.).



Мал. 7. Розрахункова схема контактної взаємодії.

До умови, коли пляма контакту обмежена радіусом  $D_k/2$ , рівняння глибини проникнення пластичної деформації трансформується до вигляду

$$h_S = \left( \frac{H B d_{\text{ш}} (d_{\text{ш}} - \sqrt{d_{\text{ш}}^2 - (d_{\text{ш}} \sin \alpha / 2)^2})}{4 \delta_T} - 1,42 (r_{\text{ш}} \sin \alpha / 2)^2 \right)^{1/2},$$

де  $\delta_T$  - межа текучості матеріала.

Величина  $h_S$  до основних типорозмірів деформуючих елементів складає не більше 0,85 мм, отже при діаметрі осі колпачка 215 мм процес пластичного деформування поверхневого шару при вібронакатуванні істотного значення на фазові перетворювання і об'ємні ефекти в матеріалі не подає. В той же час, вібронакатана поверхня за рахунок здрібнювчя зернин і формування залишкових стислювальних напруг в більшій мірі перешкоджає протіканню процесу проникнення ММ до мікропор і адсорбційного зниження міцності матеріала.

Збільшення маслоємкості третьої поверхні МОП та інтенсифікація транспортування мастильного середовища в область тертя є важливою триботехнічною вимогою при важких режимах роботи і мастильному "голодуванні" ВТ тягового привода. Для оптимізації параметрів вібронакатування реалізован повний факторний експеримент (ПФЕ) типу  $2^5$ . Функціональний зв'язок параметру оптимізації з домінуючими факторами наведен залежністю

$$F = f(s, P, \Pi_0, a, d_{\text{ш}}).$$

Відповідно до розробленої матриці кількісної і якісної оцінки вказаних факторів получена математична модель

$$\begin{aligned} y = & 60,478 + 9,322X_1 - 7,102X_2 + 14,734X_3 - 11,609X_4 - \\ & - 3,872X_5 - 1,091X_2X_3 - 0,797X_2X_4 - 0,984X_2X_5 - \\ & - 0,778X_3X_4 + 1,715X_1X_2X_3 + 0,678X_1X_3X_5 - \\ & - 0,878X_2X_3X_4 - 0,728X_2X_3X_5 - 0,741X_2X_3X_4X_5 + \\ & + 1,478X_1X_2X_3X_4X_5. \end{aligned}$$

За результатами оптимальних рішень і призначених режимів обробки вібронакатаними осями обладнані партії серійно виготовлених магістральних тепловозів для експлуатації в різних кліматичних зонах.

П'ятий розділ присвячений дослідженням, які спрямовані на підвищення ефективності функціонування ТС тягових приводів в умовах низьких температур навколишнього середовища.

В період зимової експлуатації в районах помірного і холодного клімату робота ВТ здійснюється вкрай несприятливих умовах, які характеризуються різким погіршенням в'язкісно-температурної характеристики, конденсацією вологи і обводненням мастильного середовища, що призводить до порушення стабільного режиму змащення, підвищеному зносу і зниженню моторесурса тягових приводів. Негативним наслідком обводнення ММ є також гідроліз присадок, що інтенсифікує утонення або руйнування масляної плівки, призводить до зростання адгезійних сил в контактній зоні і розриву когезійних зв'язків матеріалів пари тертя.

Дослідженням підлягали мастильні композиції, які містять штатне мастило осьове "зимове" в поєднанні з оптимальним співвідношенням антиобледенілих засобів (Тосол - А, Тосол - 40, Тосол - 65, Антифриз "65", етилцелозоль). Додатково в низькотемпературних умовах оцінювалась ефективність антифрикційних присадок  $MoS_2$ , ДТФБ, ДТФЦ.

Аналіз експериментальних даних вказує, що застосування антифризових модифікацій дає змогу знизити температурну напруженість вузла тертя МОП в більшій ступені, ніж для інших антиобледенітелів. Відносно обводненого мастила "зимового" таке зниження за мінімальних температур навколишнього середовища складає біля  $15^{\circ}C$ . Обмежена розчинність депресаторів на етиленгліколевій основі у водомастильній емульсії і транспортування його молекул в зону тертя в даному випадку є позитивним фактором, оскільки активні гідроксильні групи сприяють утворенню граничних мастильних шарів і покращенню антифрикційних властивостей трибсопряжень. Підтверджена також ефективність антифрикційних присадок в області мінусових температур навколишнього середовища, що дає змогу їх спільного застосування з антиобледенітельними добавками. Додаткове введення в систему змащення МОП твердозмащувального матеріалу незначно відбивається на мастилоподавальній здібності, причому зі зниженням температури композиції цей вплив монотонно убиває.

Застосована в період зимової експлуатації серійне мастило СТП - 3 роботоздатне в діапазоні температур - 50 ... 5°C. За більш високих температур мастило розжижується, що призводить до погіршення умов змащування зубчастої передачі, підвищеному зносу, збільшенню вібрації і шуму, забрудненню навколишнього середовища відходами мастила. Нижня температурна межа мастила також не відповідає вимогам експлуатації, оскільки в районах з суворими кліматичними умовами має місце зниження температури навколишнього середовища до мінус 60°C, що може короткочасно призвести до різького підвищення ушкодження тягових приводів.

Об'єктом порівняльних досліджень були серійні трансмісійні мастила ТС з - 9ГИП, ТСп - 10; СТП - 3, а також дослідні зразки мастильних матеріалів "Б", "Е" і "У". Виконана оцінка показала, що в області низьких температур гіршими показниками мікропенетрації володіють штатне СТП - 3 і дослідне "Е" мастила, які мають близькі характеристики. Дослідний зразок "Б" з в'язкісно - температурних властивостей перевищує серійні та інші мастильні матеріали.

Кількісна оцінка вмісту  $Fe^{3+}$  в продуктах зносу при натурних випробуваннях здійснювалась відповідно до методики, розробленої стосовно досліджень трибологічних характеристик мастильних матеріалів для тягових передач, як на стадії експериментальної перевірки, так і в процесі експлуатації в умовах деповських аналізів проб мастил. Більш високі протизносні властивості дослідного мастила "Б" підтверджуються в 2,5 ... 3 рази меншою місткістю трьохвалентного заліза, ніж в аналогічних пробах штатного мастила.

Оцінка звукової потужності, яку випромінює ТЕД, проводилася за методом огинаючого простору при вільному розповсюдженні звукових хвиль. Експериментальні заміри рівня шуму показали його зниження при використанні мастила в усіх крапках, що контролюються, не менш ніж на 30 % .

В результаті виконаних досліджень встановлено, що за комплексом таких важливіших характеристик, як хіміко-фізичні, корозійні, в'язкісно-температурні та антифрикційні властивості дослідний зразок "Б" перевершує інші мастильні матеріали і може бути рекомендован до проведення експлуатаційних випробувань.

В шостому розділі наведені результати експлуатаційної перевірки і впровадження науково-практичних розробок в регіонах жаркого, помірного і холодного клімату. На підставі позитивних результатів теоретико-експериментальних досліджень проведені великомасштабні

експлуатаційні випробування в різних кліматичних зонах, охоплюючих полігон Воркута - Душанбе - Тинда - Брест. Комісійні огляди, контрольні обміри елементів трибосистем і експлуатаційні спостереження здійснювалися в опорних локомотивних депо та пунктах обертуте тепловозів. Оцінка величини зносу трибосопрояжень виконувалась з використанням мікрометражу, як одного з найбільш доступних при технічному обслуговуванні і деповських видах ремонту ТР-1, ТР-2, ТР-3. Для об'єктивної оцінки ефективності розробок випробування проводились в період літньої та зимової експлуатації відповідно в південних і північних регіонах.

Порівняльний аналіз ймовірно - статистичних результатів мікрометрування серійних і дослідних вузлів вказує на трибологічну ефективність виконаних досліджень, що дає змогу знизити знос і пошкодження елементів ТП в 1,5 ... 3 рази. На підставі позитивних результатів комплексних досліджень розроблені науково-практичні рішення впроваджені при експлуатації тепловозів серій ТЭ-3, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ116, М62, 3ТЭ10М, 4ТЭ10С та ін. на Алма-Атинській, Байкало-Амурській, Білоруській, С-Сибірській, Горьківській, Далекосхідній, Донецькій, Забайкальській, З-Сибірській, З-Казахстанській, Казахстанській, Кемеровській, Красноярській, Куйбишевській, Жовтневій, Приволжській, Свердловській, Північній, Середньоазіатській, Целінній, П-Східній та П-Уральській залізницях.

## ЗАКІНЧЕННЯ

Результати досліджень трибологічного руйнування деталей і вузлів транспортних засобів, незважаючи на їх значний обсяг в країні та за її межами, не можуть бути достатньо ефективно систематизовані та використані внаслідок специфічних умов експлуатації і технічного обслуговування локомотивів. Узагальнення та аналіз конструктивних особливостей, режимів роботи, характеру превалюючих видів зносу і пошкоджень свідчать, що формування антифрикційних процесів з високим захисним ефектом є одним з найбільш перспективних шляхів підвищення надійності і ресурсу триботехнічних систем ТП рухомого складу.

1. На підставі результатів комплексних досліджень триботехнічних аспектів формування і активізації антифрикційної взаємодії високонавантажених елементів тертя ТП в якості визначних прийняті кумулятивні процеси попередження виникнення і розвитку активних осередків зносу і "катастрофічного" задировиникнення адгезійного

типу, обумовлені факторами конструктивно-технологічного характеру і незадовільними параметрами мастильного середовища.

В цих умовах, у зв'язку з різноманітністю і складністю взаємодії значних факторів, для формування стійких граничних плівок, забезпечення ефективної змащувальної дії, зниження інтенсивності деградації мастила і втрати їм захисних властивостей концептуально прийняті підходи, пов'язані з вводом в контактну зону ТП трибоматеріалів рідинної, консистентної і твердої фаз з урахуванням їх диференційного спектра механо-фізико-хімічних характеристик і вантажно-швидкісного режиму функціонування трибологічних систем.

В розвиток фундаментальних трибологічних принципів щодо конкретних умов роботи ВТ при оцінюванні впливу нерівноважного стану мастильного середовища на іммобілізацію малов'язкої фази, утворення активних ядер кристалізації і антифрикційний вплив досліджена ефективна сумісність багатофункціонального призначення поверхнево-активних та депресорних модифікацій.

2. Розроблена методика розрахунково-теоретичної і експериментально-аналітичної оцінки параметрів тертя ТС "вузол тертя - мастильний матеріал - оточуюче середовище" з урахуванням реологічних, адгезійних, в'язкісно-температурних і екстремальних процесів. На підставі критеріальних характеристик в широкому діапазоні температур, швидкостей і навантажень установлені критерії перехідних процесів напіврідинного тертя та граничного режиму, який передує мастильному "голодуванню" і трибологічному руйнуванню контактуючих поверхнь. У зв'язку з обмеженою областю гідродинамічного тертя дана оцінка впливу домінуючих факторів на формування ЕГД - плівки і стійких граничних шарів, а також дію їх деградації на протизадирну стійкість трибоелементів ТП.

3. Запропоновані математичні моделі впливу геометро-кінематичних параметрів, термічних процесів і п'езокоефіцієнта мастильного середовища на несучу здібність пар тертя, при цьому розходження результатів обчислювального процесу і експериментальних даних не перевищує 20 %. Аналіз функціонального стану ТС показує, що для суттєвого підвищення триботехнічних якостей ТП необхідно використання твердомастильних матеріалів, багатофункційних поверхнево-активних компонентів, депресорних композицій і нових мастильних матеріалів з високим захисним ефектом.

4. За результатами досліджень на підставі теорії подібності і методів моделювання щодо важконавантажених підшипників ковзання в якості ТСМ - компонента в системі змащування прийняті дисульфід

молібдена. Оптимізація процесу вводу  $MoS_2$  в область тертя, розглянута шляхом реалізації некомпозиційного плану другого порядку і інтерпретації рівняння регресії математичної моделі, показали статистичну значимість прийнятих конструкторсько - технологічних і експлуатаційних факторів у формуванні стійких металомістких плівок. Несуча здібність натурального вузла тертя із застосуванням твердомастильного матеріала перевищує відповідні показники щодо штатаних мастил на 12...20%.

5. Трибоаналіз диференційованого спектру в'язкісно-температурних і антифрикційних властивостей мастильних матеріалів типу БОНМЗ виявили їх більш високі показники, при цьому з підвищенням параметра навантаження захисний ефект відносно серійних сезонних мастил зростає. Обґрунтована ефективність легірування мастильних матеріалів високомолекулярними багатофункціональними поврехнево-активними присадками типу ДТФБ і ДТФЦ, які обладують важливими якісними характеристиками, що відповідають умовам експлуатації тягових приводів. Інтенсифікація процесів по запобіганню зниження захисної ролі і деградації ММ в поєднанні із досягнутим покращенням приробітних та протизносних якостей дослідних трибоматеріалів (на 40 ... 50 %) набувають перворядне значення за разукомплектацією пар тертя на різних стадіях експлуатації в ході проведення поточних та позапланових видів ремонту. Розробка і застосування до трибосистем тягових приводів синтетичних ММ в найближчі роки не може розглядатись як альтернативне рішення, оскільки хімічно активні компоненти, які входять до рецептурного складу таких мастил, чинять неоднозначний вплив на матеріали трибосопряжень, при цьому стримуючим фактором є також більш висока (в кілька разів) вартість порівняно з мінеральними мастильними матеріалами.

6. З метою збільшення мастилоємкості контактної зони вирішена задача утворення регулярного мікрорельєфу поверхні тертя осі колпари за рахунок формування правильно зорієнтованих мастилоуловлювальних каналів у вигляді синусоїдальної гармоніки, яка забезпечує оптимальне співвідношення опорної поверхні контактування, її мастилоємкості та гідродинамічної підйомної сили мастильного середовища, акумульованого в зоні вібронакатаного профіля. Для оцінки впливу режимів віброосціляції на зниження втрат на тертя в підшипниках ковзання реалізован ПФЕ з використанням багатофакторної поліноміальної моделі, інтерпретація і статистичний аналіз якої дали змогу оптимізувати основні параметри процесу вібронакатування. Відповідно до розрахункової схеми встановлені

критерії мастилоємкості ВТ, а також зроблений висновок, що процес пластичного деформування поверхневих шарів осі колпачка при формуванні регулярного мікрорельєфу суттєвого значення на об'ємні ефекти матеріалу не чинить. Підвищення несучої здібності дослідних опор ковзання (по критичному передзадирному навантаженню) в порівнянні з серійними складає 20 ... 25 % . Розрахункові параметри і кінематика процесу вібронакатування припускають його реалізацію в виробничих умовах і виконанні ремонту ТП в опорних локомотивних депо.

7. Здійснен трибоналіз дослідних трансмісійних мастил типу СТП - У, призначених для роботи тягових передач тепловозів в регіонах помірного клімату. Результати порівняльних досліджень свідчать, що по комплексу в'язкісно-температурних, антифрикційних та службових властивостей зазначені ММ переважають штатні мастила. Відповідно до вимог екологічної чистоти забезпечується зниження у виробничому циклі за рахунок коректування рецептурного складу забруднення оточуючого середовища шкідливими компонентами, особливо, осіркованим октолом, а також зменшенням токсикологічного, резорбтивного і сансбилізуючого впливу на обслуговуючий персонал в процесі виготовлення та застосування дослідних мастил.

8. Виконан спеціальний цикл досліджень, урахувуючи особливості функціонування вузлів тертя ТП в низькотемпературних умовах експлуатації. З використанням хладагентного устаткування TV-1000 "ЕВЕНАКО" (Німеччина) обгрунтовані антифрикційна дія та ефективна сумісність ДТФБ, ДТФЦ,  $MoS_2$  і депресорних модифікацій із мастильними матеріалами з низьким індексом в'язкості. Використання ТММ - компонентів в мастильному середовищі незначно відбивається на мастилоподаючій здібності системи смащування і зі зниженням температури робочої композиції цей вплив монотонно убуває. Обмежена розчинність етиленгліколевої основи в водемастильній емульсії та її транспортування безпосередньо в контактну зону з подальшим утворенням стійких граничних мастильних шарів при використанні антифризових композицій сприяють зниженню термічного режиму і стабілізації стану змащення.

9. Відповідно з розробленою методикою оцінки вмісту продуктів зносу в мастильному середовищі виявлено зменшення концентрації трьохвалентного заліза в дослідному мастилі СТП - Б в 2,5 ... 3 рази у порівнянні із серійним. Встановлено також зниження температурної напруженості, рівня шуму, і втрат потужності в тяговій передачі. Експлуатаційні випробування на Байкало-Амурській залізниці

підтвердили ефективність дослідного мастила в зоні суворих кліматичних умов роботи ТП. На підставі позитивних результатів комплексних досліджень низькотемпературні ММ і депресорні композиції рекомендовані до застосування в період зимової експлуатації в регіонах помірного та холодного кліматів.

10. Результати тривалих (більш ніж 15 років) спостережень поетапного впровадження і подальшого розвитку запропонованих науково-практичних рішень на 22 залізницях для магістральних локомотивів серій ТЭ 3, 2ТЭ10Л, 2ТЭ116, М62, 3ТЭ10М, 4ТЭ10С та ін. свідчать про ефективність виконаних досліджень, що дало змогу знизити знос і пошкодження трибоелементів тягових приводів в 1,5 ... 3 рази. Важливою в техніко-економічному відношенні є принципова можливість практичної реалізації досягнутих результатів в інших галузях протисловості щодо вузлів і агрегатів, працюючих в аналогічних умовах.

Основні положення дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Головинов Г.Г. Трение и смазка тяговых приводов локомотивов. Монография. - Киев: Научное издательство, 1996. - 116с.

2. Головинов Г.Г. Экспериментальные исследования смазочных материалов моторно-осевых подшипников тепловозов // Конструирование и производство транспортных машин. Киев, -1994.- Вып.24. - С.193-194.

3. Головинов Г.Г. Оценка коррозионных свойств редукторных смазок. УкрНТИ. Луганск, 1993. - 4с.

4. Головинов Г.Г. Разработка эффективных смазочных материалов моторно-осевых подшипников тепловоза // Конструирование и производство транспортных машин. - Харьков, 1994. - Вып.23 - С.61-64.

5. Головинов Г.Г. Исследования смазочных материалов для тяговых редукторов тепловозов. - УкрНТИ, Луганск, 1993. - 4с.

6. Головинов Г.Г. Экспериментальные исследования параметров вибронакатывания моторно-осевых подшипников // Конструирование и производство транспортных машин. - Харьков, -1993. - Вып.22. - С. 51-54.

7. Головинов Г.Г. Повышение работоспособности тяговых передач в низкотемпературных условиях. - УкрНТИ, Луганск, 1993. -4с.

8. Головинов Г.Г. Совершенствование системы смазки подшипников скольжения в низкотемпературных условиях. - УкрНТИ, Луганск, 1993. -4с.

9. Головинов Г.Г., Деркач С.А., Мухаметчин А.Т. Параметры смазочных материалов моторно-осевых подшипников тепловозов //

Конструирование и производство транспортных машин.- Харьков, 1989. - Вып. 21.- С.130-132.

10. Головинов Г.Г. Оценка содержания продуктов износа в смазочных материалах. - УкрНТИ, Луганск, 1993. -4с.

11. Головинов Г.Г., Малахова Г.И., Деркач С.А. Исследование низкотемпературных условий эксплуатации моторно-осевых подшипников тепловозов // Конструирование и производство транспортных машин.-Харьков, 1988. - Вып. 20.- С.34-36.

12. Головинов Г.Г. Совершенствование процесса приработки подшипников скольжения путем вибронакатывания. - УкрНТИ, Луганск, 1993. -4с.

13. Головинов Г.Г. Исследование работоспособности узлов трения колесно-моторных блоков тепловозов // Конструирование и производство транспортных машин. -Харьков, 1986. -вып.18. - С.83-85.

14. Головинов Г.Г., Малахова Г.И. Повышение эффективности смазочных материалов для подшипников скольжения // Конструирование и производство транспортных машин. -Харьков, 1987. - Вып.19. - С.63-65.

15. Головинов Г.Г. Исследования прирабочных смазочных материалов. УкрНТИ, Луганск, 1993. -4с.

16. Головинов Г.Г., Меренко Н.Д., Малахова Г.И. Исследование низкотемпературных смазок для тяговых редукторов тепловозов // Конструирование и производство транспортных машин.- Харьков,1985.- Вып.17 -С.77-80.

17. Головинов Г.Г., Коропец А.П., Меренко Н.Д. Исследование работоспособности системы смазки моторно-осевых подшипников тепловозов//Конструирование и производство транспортных машин. - Харьков,1984. -Вып.16. -С .30-33.

18. Головинов Г.Г., Коропец А.П., Тарасюк С.З. Повышение надежности моторно-осевых подшипников тепловозов // Конструирование и производство транспортных машин.-Харьков, 1983. -Вып. 15 - С.20-21.

19. Головинов Г.Г. Исследование твердосмазочных материалов для моторно-осевых подшипников тепловозов. УкрНТИ, Луганск, 1993. -4с.

20. Головинов Г.Г., Евстратов А.С., Коропец А.П. // Экспериментальные исследования температурной напряженности моторно-осевых подшипников//Конструирование и производство транспортных машин.-Харьков.-1982. -Вып.14.- С.31-34.

21. Головинов Г.Г., Найш М.Н., Коропец А.П., Назаренко В.Г. // Обеспечение надежной работы моторно-осевых подшипников зимой. -Железнодорожный транспорт,1980-№ 1. -С.57-58.

22. Меренко Н.Д., Назаренко В.Г., Головинов Г.Г. Снижение износа подшипников скольжения. -ВЦНТИ. Ворошиловград. -1981. -4с.

23. Назаренко В.Г., Новикова Т.Н., Головинов Г.Г. Приработка пар трения и выбор материала вкладышей моторно-осевых подшипников тепловозов//Конструирование и производство транспортных машин.Харьков,1979.-N11. -С.59-62.

24. Головинов Г.Г. Повышение эффективности смазочных материалов для моторно-осевых подшипников скольжения. - УкрНТИ, Луганск,1993. -4с.

25. Назаренко В.Г., Головинов Г.Г., Меренко Н.Д. Вибронакатывание регулярных рельефов-ВЦНТИ,Ворошиловград.-1981.-4с.

26. Головинов Г.Г., Коропец А.П. Повышение работоспособности подшипников скольжения при низких температурах. -ВЦНТИ. Ворошиловград, 1987.-3с.

27. А.с.642228 СССР,МКИ В 61 17/10.Способ смазывания подшипника скольжения/Г.Г.Головинов и др. -1987. -3с.

28. А.с.1399200 СССР,МКИ В 61 17/36.Смазочный узел моторно-осевого подшипника/Г.Г.Головинов и др. -1988. -3с.

29. А.с.1439001 СССР,МКИ В 61 17/06,17/36.Устройство для смазки моторно-осевого подшипника/Г.Г.Головинов и др. -1988. -4с.

30. А.с.1461670 СССР,МКИ В 6117/22.Устройство для смазки моторно-осевого подшипника/Г.Г.Головинов и др. -1989. -3с.

31. А.с.1505822 СССР,МКИ В 61 17/36, 1629/02.Устройство для смазывания моторно-осевого подшипника локомотива/Г.Г.Головинов и др. -1989. -3с.

32. Положительное решение на патентование по заявке 95020616 "Смазочный узел моторно-осевого подшипника скольжения"/Г.Г.Головинов, С.А.Держач. Приоритет от 13.02.95.

33. Головинов Г.Г. Повышение эффективности смазочных материалов в моторно-осевых подшипниках тепловозов. - Ворошиловград,1986. -60с.Деп. в ВИНТИ N2629-УК.

34. Головинов Г.Г. Трение и смазка элементов колесно-моторных блоков тепловозов. -Ворошиловград,1986. -58с.Деп. в ВИНТИ N2630-УК.

35. Головинов Г.Г., Меренко Н.Д., Найш М.Н. и др. Повышение надежности и долговечности моторно-осевых подшипников тепловозов.-Тезисы докл.Респ.науч.-техн. конференции "Управление надежностью машин". Киев, 1978.-С.192-193.

36. Головинов Г.Г. Исследования по повышению работоспособности узлов трения колесно-моторных блоков тепловозов. -Тезисы докл. Всесоюзн. Науч.-техн. конференции "Создание и техническое

обслуживание локомотивов большой мощности". Ворошиловград, 1985. -С.191

37. Головинов Г.Г., Коропец А.П., Каличевская Е.А. Исследование низкотемпературных смазок для тяговых редукторов. - Тезисы докл. Респ. Науч.-техн. Конференции по пластичным смазкам, Бердянск, 1985. - С. 52.

38. Головинов Г.Г., Деркач С.А., Мухаметчин А.Т. Повышение эффективности смазочных материалов моторно-осевых подшипников тепловозов. -Тезисы докл. Всесоюзн. Науч.-техн. Конференции "Обеспечение надежности узлов трения машин". Ворошиловград, 1988. - С.65.

39. Головинов Г.Г. Повышение надежности тяговых приводов тепловозов в низкотемпературных условиях. - Тезисы докл. Республ. науч.-техн.конференции "Научные достижения и опыт отраслей машиностроения - народному хозяйству." Харьков, 1990. -С.72-73.

40. Головинов Г.Г. Повышение износостойкости узлов трения. - Тезисы докл.Международной научной конференции "Проблемы транспорта и пути их решения." Киев, 1994. -С.108.

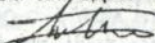
41. Головинов Г.Г. Трибологические аспекты повышения работоспособности узлов трения.-Тезисы докл. V Международной науч.-техн. конфеенции "Проблемы развития локомотивостроения." Алушта, 1995.-С.41-42,

та інші.

Головінов Геннадій Георгійович  
ФОРМУВАННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ  
КОНТАКТНОЇ ВЗАСМОДІЇ  
ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
ТЯГОВИХ ПРИВОДІВ ТЕПЛОВОЗІВ

05.22.07 - Рухомий склад залізниць

I тяга поїздів



---

Підписано до друку 22.05.97. Формат 60x84 I/16

2, I д. а. Тираж 120. Замсвл. 217

## ABSTRAKT

Golovihov G.G. The formation of antifrictional processes of contact interaction of high - loaded trybo - technical elements of locomotives pull - drivers.

Thesis for a doctor's degree ( engineering ) in speciality - 05.22.07 - Railway rollingstock and diesel locomotives traction. Eact - Ukrainian State Universiti, Lugansk, 1997.

49 scientific : papers, one monograph, five certificates of inventions and the patent are defended. The papers deal with the results of the calculated - theoretical and experimental - analytical : evaluation of commercial and experimental trybo - systems friction parameters. Scientific and practical decisions on anti - frictional processes wigh protective effect formation for different climatezones and extreme conditions of maintenance are proposed.

## АННОТАЦИЯ

Головинов Г.Г. Формирование антифрикционных процессов контактного взаимодействия высоконагруженных триботехнических элементов тяговых приводов тепловозов.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог и тяга поездов, Восточноукраинский государственный университет, Луганск, 1996 г.

Защищается 49 научных работ, в том числе, монография, пять авторских свидетельств и положительное решение по заявке на патентование, в которых содержатся результаты расчетно-теоретического и экспериментально - аналитической оценки параметров трения серийных и опытных трибосистем. Предложены научно-практические решения по формированию антифрикционных процессов с высоким защитным эффектом в различных климатических зонах и экстремальных условиях эксплуатации.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: тепловоз, тягові приводи, параметри тертя, антифрикційний процес, експлуатація.

432 507

AB  
АВ 38.191