

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Горбань Валентина Геннадіївна

УДК 621.45.04

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТЕПЛОВИЗНИХ  
ДИЗЕЛІВ АКТИВАЦІЄЮ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ОЛИВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини” Української державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор

**Венцель Євген Сергійович**, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра “Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини”, завідувач кафедри.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Головінов Геннадій Георгійович**, академія митного контролю України, начальник кафедри;

кандидат технічних наук

**Наглюк Іван Сергійович**, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент.

Захист відбудеться " 22 " листопада 2007 року о 13<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.04 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий "19" жовтня 2007 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Ломотько Д.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Як відомо, надійність дизельних двигунів внутрішнього згоряння в значній мірі визначає безперебійний і безпечний рух поїздів. Це досягається не тільки досконалістю конструкції дизелів і дотриманням необхідних умов експлуатації, але і правильно складеною системою планово-попереджувальних ремонтів.

В даний час ресурс двигунів тепловозів, що знаходяться в експлуатації на залізницях України, в значній мірі вироблений у зв'язку зі значним зносом їхніх вузлів тертя (насамперед деталей кривошипно-шатунного механізму), а придбання нових двигунів вкрай проблематичне через істотні матеріальні витрати. Отже, має велике значення рішення проблеми підвищення ресурсу тепловозних дизелів, тобто забезпечення їх ресурсозбереження.

Одним з шляхів рішення цієї проблеми є зниження інтенсивності зношування пар тертя, що може бути досягнуто, зокрема, активною дією на протизношувальні властивості вживаних в них змащувальних олив, які здатні в тій чи іншій мірі розв'язати проблему зносостійкості вузлів тертя, тобто підвищити ресурс двигунів в цілому.

У зв'язку з викладеним виникає необхідність пошуку нових альтернативних засобів активної дії на змащувальні оливи, зокрема, шляхом введення в них активаторів протизношувальних властивостей. Таке рішення проблеми не призводить до значних економічних витрат при експлуатації дизелів, не викликає необхідності удосконалення їхньої конструкції, а ефективність анамегаторів згідно літературних даних, не менше, а в деяких випадках більше вже існуючих методів і засобів поліпшення властивостей олив.

**Зв'язок роботи з програмами, планами і темами.** Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри "Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини" Української державної академії залізничного транспорту і виконувалася відповідно до програми "Підвищення надійності і довговічності машин і конструкцій", яка наведена в ухвалі Верховної Ради України №2750 від 16.10.92 з подальшими доповненнями; Державною програмою розвитку і модернізації залізничного транспорту України і програмою про розвиток фундаментальних досліджень і їх застосування, які прийняті Кабінетом Міністрів на підставі Закону України "Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності".

Робота пов'язана з виконанням за завданням Укрзалізниці науково-дослідної роботи "Дослідження впливу на стан дизелів анамегатору моторних і трансмісійних олив "Озерол МП-10", його ефективність і техніко-економічні показники (номер державної реєстрації 0104U003235).

**Мета і завдання дослідження.** Метою даної роботи є розробка науково обґрунтованої технології забезпечення ресурсозбереження дизелів тепловозів шляхом активації властивостей змащувальних олив, що використовуються в них.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз основних чинників, що впливають на ресурс тепловозних дизелів в експлуатації.
2. Обрати технологію підвищення ресурсу тепловозних дизелів.
3. Встановити механізм підвищення ресурсу тепловозних дизелів за рахунок зниження зносу їх вузлів тертя.
4. Експериментальним шляхом підтвердити ефективність нової технології підвищення ресурсу тепловозних дизелів при застосуванні в моторних оливах активатора, який найбільшою мірою здатний поліпшити протизношувальні властивості моторних олив, що використовуються в дизелях тепловозів.
5. Провести оцінку кількісних характеристик забезпечення ресурсозбереження дизелів тепловозів.

6. Оцінити економічну ефективність запропонованої технології ресурсозбереження дизелів тепловозів.

**Об'єкт досліджень** – технологія ресурсозбереження дизелів тепловозів.

**Предмет досліджень** – вплив процесу активації змащувальних олив на характеристики роботи дизелів тепловозів.

**Методи досліджень** – в процесі вивчення стану питання у напрямі досліджень, що стосуються теми дисертації, використовувався метод аналізу; при теоретичних дослідженнях – аналітичний метод, який базується на фундаментальних положеннях фізики, механофізики, матеріалознавства, теорії тертя і зношування; при проведенні експериментальних досліджень – сучасні методи випробувань на знос, методи металографії і рентгеноструктурного аналізу, і спеціально розроблений метод визначення товщини граничних змащувальних шарів; при обробці результатів досліджень – методи математичної статистики.

#### **Наукова новизна одержаних результатів**

1. Вперше запропонована технологія ресурсозбереження дизелів тепловозів шляхом додавання активатора "Diamond Ozerol МП-10" до змащувальних моторних олив, а також отримані залежності зносу відповідальних деталей тепловозних дизелів від концентрації активатора в моторних оливах, що вживаються в них.

2. Вперше встановлений механізм технології ресурсозбереження тепловозних дизелів за рахунок позитивного впливу активатора – анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" на характеристики роботи відповідальних деталей.

3. Доопрацьовані аналітичні залежності, що характеризують ресурсозбереження дизелів тепловозів при експлуатації.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропонований метод активації моторних олив дозволяє забезпечити ресурсозбереження дизелів тепловозів, що сприяє їх ефективнішому використанню в рухомому складі залізниць України.

Результати досліджень впроваджені в локомотивному депо Основа Південної залізниці, а також можуть бути використані для поліпшення протизношувальних властивостей будь-яких змащувальних моторних олив.

Матеріали дисертації використовуються в учбовому процесі УкрДАЗТ для підготовки фахівців і магістрів по спеціальностях "Рухомий склад і спеціальна техніка залізничного транспорту" і "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання".

**Особистий внесок здобувача.** У роботах, опублікованих із співавторами, особисто здобувачем були одержані наступні розробки і наукові результати, представлені до захисту: розроблена методика, проведені випробування і аналіз одержаних результатів, а також встановлена мінімально необхідна концентрація активатора "Diamond Ozerol МП-10" в оливі [2]; розроблена фізико-математична модель процесу взаємодії агрегатів поверхнево-активних речовин з поверхнями тертя, встановлений вплив концентрації активатора на товщину адсорбційного шару і інтенсивність зношування пар тертя [3]; проведені лабораторні випробування товщини граничних шарів олив з активатором "Diamond Ozerol МП-10", розроблений аналіз і порівняння одержаних результатів з даними теоретичних досліджень [4]; розроблена методика і проведені випробування активатора "Diamond Ozerol МП-10", оброблені і проаналізовані одержані результати [5].

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи докладалися і обговорювалися:

- на 66-69-ї міжнародних науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту і фахівців залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, 2004-2007);

- на міжнародній науково-технічній конференції "Наукові дослідження вискоефективних землерийно-транспортних машин" Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (м. Харків, 2004);

- на міжнародній науково-практичній конференції "Наукові дослідження – теорія і експеримент" Полтавського національного технічного університету (м. Полтава, 2005);

- на III-й міжнародній науково-технічній конференції "Вібрація машин: вимірювання, зниження, захист" Донецького національного технічного університету (м. Донецьк, 2005).

Повністю результати дисертаційної роботи докладалися в 2007 р. на розширеному засіданні кафедри "Будівельні, колійні і вантажно-розвантажувальні машини" Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради.

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 5 наукових робіт в спеціалізованих виданнях, затверджених ВАК України (одна стаття без співавторів).

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, основних результатів і висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 160 сторінок, зокрема 126 сторінок основного тексту, 14 таблиць і 34 рисунки за текстом, список використаних джерел на 13 сторінках, який містить 117 найменувань, і 5 додатків на 21 сторінці.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, розкрито суть і стан проблеми, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну і практичну цінність, подано загальну характеристику роботи.

У **першому розділі** зроблено аналіз існуючих на даний час методів ресурсозбереження двигунів внутрішнього згоряння.

Відзначено, що в процесі роботи дизеля відбувається зношування, інтенсивність якого залежать від ряду чинників, що визначаються режимом тертя, а також властивостями використовуваних змащувальних матеріалів. Проте останні в процесі роботи самі зазнають значні перетворення, що виражається в зміні їхнього хімічного складу. Ці зміни негативно впливають на протизношувальні та інші властивості моторних оли. З метою запобігання зміни властивостей змащувальних матеріалів, а також поліпшення їхніх експлуатаційних характеристик, більшість оли містить різні добавки (присадки).

Одним з методів підвищення ресурсозбереження машин за рахунок поліпшення експлуатаційних властивостей оли є диспергування частинок забруднень, що містяться в них.

Також з метою активації моторних оли шляхом інтенсифікації адсорбційних процесів на поверхнях тертя застосовують спеціально розроблені пристрої, для електростатичної обробки змащувальних матеріалів.

Проте для реалізації більшої частини існуючих засобів і методів поліпшення експлуатаційних властивостей моторних оли необхідні достатньо складні пристрої, які при відносно високій ефективності мають значну вартість, і при установці їх в систему змащення двигунів виникають значні труднощі. Саме тому такі пристрої знайшли обмежене розповсюдження у вітчизняному дизелебудуванні.

Останнім часом в літературі з'явилися відомості про те, що для зниження тертя і зносу в двигунах внутрішнього згоряння розроблені додаткові добавки для моторних оли – модифікатори, які підрозділяються на декілька груп: модифікатори тертя, реметалізанти, кондиціонери металу тощо. Недоліки таких добавок полягають в малій

тривалості позитивного ефекту, а в деяких випадках і нанесенні збитку роботі двигуна. До того ж, часто висока вартість таких добавок обмежує їх застосування.

Найдоцільнішим слід визнати метод ресурсозбереження дизелів тепловозів поліпшенням експлуатаційних властивостей моторних оливо шляхом введення в них активаторів типу "Озерол", які завдяки відносно низькій вартості і своїй багатофункційності здатні знизити тертя і знос в дизелях тепловозів.

На основі аналізу існуючих методів активації моторних оливо було сформульовано мету і задачі досліджень.

В **другому розділі** наведені методика і результати експериментальних досліджень впливу активатора "Diamond Ozerol МП-10" на ресурсозбереження дизелів тепловозів. Дослідження проводилися як для товарних оливо М-14-Г<sub>2</sub>ЦС і М-14-В<sub>2</sub>, так і для їх сумішей з анамегатором "Diamond Ozerol МП-10" в різних концентраціях.

Результати досліджень показали, що введення анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" до складу моторних оливо М-14-Г<sub>2</sub>ЦС і М-14-В<sub>2</sub> не приводить до істотних змін їхніх фізико-хімічних властивостей крім деякого підвищення лужного числа.

Для визначення мінімально необхідної концентрації анамегатора в досліджуваних моторних оливах, при якій матиме місце найкращі протизношувальні властивості, були проведені лабораторні дослідження на машинах тертя СМЦ-2, ЧШМ і МТВПД.

Дослідження на машині тертя СМЦ-2 проводилися за схемою «ролик-колодка», яка імітує роботу шийки колінвала та вкладиша підшипника. Зразки роликів були виготовлені з високоміцного чавуну ВЧ40, з якого виконують колінчасті вали двигунів 5Д49 і 10Д100. Колодки виготовлялися з бронзи БрОЦС 4-4-17, яка використовується для вкладишів підшипників ковзання цих же двигунів. Крім того, проводилися випробування за такою ж схемою, тільки в цьому випадку колодки були виготовлені з високоміцного чавуну ВЧ40, а на робочу поверхню їх електролітичним способом було нанесено хромове покриття, як це робиться на поршневих кільцях дизеля 5Д49.

Для змащування зразків були використані свіжі моторні оливи М-14-Г<sub>2</sub>ЦС і М-14-В<sub>2</sub>, а також оливи цих же марок з доданим в них анамегатором "Diamond Ozerol МП-10" в концентраціях 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,12 і 0,14% за об'ємом.

З графіків, наведених на рис.1, видно, що при концентрації анамегатору 0,14% в оливі М-14-Г<sub>2</sub>ЦС сумарна величина зносу складає 0,2678 г для пари тертя «чавун-бронза» і 0,0423 г для пари тертя «чавун-хром», що приблизно в 2,5 рази більше, ніж при концентрації 0,08%, але все-таки дещо нижче (в 1,16 рази), ніж при використуванні свіжої оливи. Найбільший же знос зразків має місце при використуванні свіжої оливи М-14-Г<sub>2</sub>ЦС.

При використуванні свіжої оливи М-14-В<sub>2</sub> без анамегатору для пари тертя «чавун-бронза» сумарний знос зразків складає 0,536 г, «чавун-хром» – 0,0656 г. Після введення в свіжу оливу анамегатору знос поступово знижується по мірі підвищення концентрації приблизно до рівня 0,12%. Знос при цьому складає: пари тертя «чавун-бронза» - 0,192 г, пари тертя «чавун-хром» – 0,0226 г, що відповідно в 2,8 і 2,9 раз менше, ніж при випробуваннях зі свіжою моторною оливою без анамегатора. Потім знос знову під-вищується до меж досліджуваного діа-пазону концент-рацій і при значенні її 0,14% він складає 0,216 г і 0,0244 г при використанні пар тертя «чавун-бронза» і «чавун-хром», відповідно.

Рис. 1. Графіки залежності сумарного зносу  $U$  зразків від концентрації  $j$  анамегатору при випробуваннях моторних оливо М-14-Г<sub>2</sub>ЦС (1) і М-14-В<sub>2</sub> (2) на машині тертя СМЦ-2:  
а) пара тертя "чавун-бронза"; б) пара тертя "чавун-хром".

Після математичної обробки отриманих усереднених даних за результатами випробувань всіх сполучень зразків тертя на обох оливах на машині тертя СМЦ-2 були отримані рівняння, які апроксимують закономірності зміни зносу при різних концентраціях анамегатору "Diamond Ozerol МП-10". Після диференціювання цих рівнянь і прирівнювання першої похідної до нуля було встановлено, що мінімально необхідна концентрація анамегатора в моторній оливі М-14-Г<sub>2</sub>ЦС для пари тертя "чавун-хром" складає 0,0846 %, а для пари тертя "чавун-бронза" – 0,076 %, тобто можна прийняти, що мінімально необхідна концентрація анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" в оливі М-14-Г<sub>2</sub>ЦС повинна складати в середньому 0,08% для всіх сполучень зразків пар тертя. Таким же чином встановлено, що мінімально необхідне значення концентрації анамегатору в моторній оливі М-14-В<sub>2</sub> для пар тертя "чавун-хром" і "чавун-бронза" складає 0,11 %.

Аналогічні результати з поліпшення протизношувальних властивостей олив і мінімально необхідного значення концентрації анамегатора були отримані на чотирьохкульковій машині тертя ЧШМ, де були використані змінні кульки діаметром 12,7 мм, виготовлені зі сталі ШХ-15. Така схема випробувань імітує роботу вищих кінематичних пар двигунів. При умовах контакту кульок в точці застосування олив М-14-Г<sub>2</sub>ЦС і М-14-В<sub>2</sub> з анамегатором, що знаходиться в оливах в мінімально необхідній концентрації (відповідно, 0,08 і 0,11%), дозволило також зменшити знос зразків (в 1,27 рази при випробуваннях на оливі М-14-Г<sub>2</sub>ЦС і в 1,37 рази - на оливі М-14-В<sub>2</sub>) в порівнянні з свіжою оливою без анамегатора.

Проводилися також випробування на машині тертя МТВПД, яка імітує умови роботи поршневого кільця та гільзи циліндра. В якості пар тертя були використані зразки, виготовлені з реальних гільз циліндрів і хромованих поршневих кілець тепловозного дизеля.

Аналіз отриманих результатів випробувань підтвердив, що мінімально необхідна концентрація анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" в оливі М-14-Г<sub>2</sub>ЦС складає 0,08%, а в оливі М-14-В<sub>2</sub> – 0,11% (рис. 2). При цьому знос зразків, що імітують роботу поршневих кілець, зменшився в 2,0 рази (олива М-14-Г<sub>2</sub>ЦС) і 1,4 рази (олива М-14-В<sub>2</sub>), а знос гільз – відповідно, в 1,83 і в 1,24 рази.

Для дослідження впливу наявності модифікатора в моторних оливах М-14-Г<sub>2</sub>ЦС і М-14-В<sub>2</sub> на їх антифрикційні властивості були проведені випробування зразків, що імітують роботу шийки колінвала та вкладиша підшипника на машині тертя 2070 СМТ-1 при східчастому навантаженні в межах 0,2-1,0 кН з кроком 0,2 кН.

В якості зразків використовували ролики з високоміцного чавуну з нанесеним електролітичним способом хромовим покриттям. Вміст анамегатора в оливі складав 0,01; 0,04; 0,08; 0,11 і 0,14%. Під час випробувань фіксувався момент сил тертя, після чого розраховувався коефіцієнт тертя.

Випробування проводилися із зразками в неприробленому і приробленому станах.

Рис. 2 Гістограми зносу пар тертя "гільза – поршневе кільце" з використанням моторних олив М-14-Г<sub>2</sub>ЦС і М-14-В<sub>2</sub>.

За результатами проведених досліджень встановлений позитивний вплив анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" на антифрикційні властивості моторних олив для пар тертя, як в приробленому, так і в не приробленому станах. При цьому при випробуваннях олив з додаванням анамегатора в мінімально необхідній концентрації коефіцієнт тертя знизився: для оливи М-14-Г<sub>2</sub>ЦС до прироблення пар тертя в 1,25 рази, після прироблення – в 1,15 рази; для оливи М-14-В<sub>2</sub> – в 1,23 і 1,25 рази, відповідно, в порівнянні з товарною оливою.

Металографічні дослідження роликів, що брали участь у випробуваннях на машині тертя СМЦ-2, показали, що в результаті контакту металевих зразків тертя з олівами, що містять анамегатор "Diamond Ozerol МП-10" в мінімально необхідній концентрації, виникає зміцнення приповерхневого шару і підвищення чистоти поверхні. Про це свідчить той факт, що збільшилася поверхнева щільність дислокацій і як наслідок, знизився розмір ОКР і збільшилися мікронапруження. Результати цих досліджень дали підставу прогнозувати можливість виникнення на поверхнях тертя більш товстої граничної плівки.

Для підтвердження такої гіпотези були проведені експериментальні дослідження з визначення товщини граничних змащувальних шарів за допомогою модернізованої відомої стопи О.С. Ахматова.

Результати цих досліджень (табл. 1) показали, що введення в товарні моторні оливи М-14-Г<sub>2</sub>ЦС і М-14-В<sub>2</sub> анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" сприяє збільшенню товщини граничної змащувальної плівки в порівнянні з випадком, коли в оліві анамегатор не присутній. Це дало підставу для трактування механізму технології ресурсозбереження дизелів за рахунок позитивного впливу анамегатору на протизношувальні властивості олів.

Таблиця 1

Товщини змащувального граничного шару	
Стан оливи	Товщина шару, Å
Штатна М-14-Г <sub>2</sub> ЦС	9475
- « - + 0,08% МП-10	10120
- « - + 0,14% МП-10	9677
Штатна М-14-В <sub>2</sub>	8628
- « - + 0,11% МП-10	9596
- « - + 0,14% МП-10	8790

**Третій розділ** присвячений теоретичним дослідженням механізму позитивного ефекту введення анамегатору "Diamond Ozerol МП-10" в моторну оливу.

Такий механізм заключається в створенні на поверхнях тертя двошарового змащення, сутність якого полягає в наступному (рис. 3). При введенні додаткової присадки типу "Diamond Ozerol МП-10" зниження інтенсивності зношування досягається завдяки тому, що молекули анамегатора мають відносно більший дипольний момент порівняно з молекулами штатної присадки. Перший шар формується з молекул додаткової присадки, а другий – з молекул основної присадки, яка міститься в моторній оліві. Це як показали наші дослідження, і має місце при використанні анамегатора "Diamond Ozerol МП-10".

При визначенні фізико-математичної моделі взаємодії молекул протизношувальної присадки активованої моторної оливи з поверхнями тертя в умовах

Рис.3. Структура подвійного граничного шару:

- 1 – поверхня тертя
- 2 – анамегатор "Diamond Ozerol МП-10";
- 3 – присадка базової оливи;
- 4 – перехідний шар.

конкурентної фізичної адсорбції нами був використаний метод електростатичних зображень. Відповідно до досліджень О.С. Ахматова енергія взаємодії поверхнево-активних речовин (ПАР) з поверхнями тертя складає



$$W = - \frac{P^2}{8 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \left[ 4r^3 - r \cdot \left( \frac{P}{e} \right)^2 \right]}, \quad (1)$$

де  $P$  – дипольний момент молекули ПАР;  
 $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність моторної оливи;  
 $\varepsilon_0$  – абсолютна діелектрична проникність;  
 $r$  – область дії силового поля поверхні тертя;  
 $e$  – величина заряду електрона.

Із залежності (1) слідує, що енергія взаємодії ПАР найбільшою мірою залежить від дипольного моменту і області дії силового поля поверхні.

Процес формування адсорбційного шару відбувається при певній граничній умові. Таку умову можна встановити, якщо порівняти енергію взаємодії молекул ПАР з поверхнею тертя і кінетичну енергію теплових коливань молекул в моторній оливі. Порівнюючи ці два види енергій, можна оцінити зону дії сил притягання, тобто в першому наближенні встановити величину адсорбційного шару молекул. Для цього запишемо умову існування адсорбційно-десорбційної рівноваги

$$W > W_T, \quad (2)$$

де  $W$  – енергія взаємодії ПАР з поверхнею тертя;  
 $W_T$  – кінетична енергія теплових коливань в моторній оливі.  
Як відомо, кінетична енергія теплових коливань молекул в моторній оливі складає

$$W_T = K \cdot T, \quad (3)$$

де  $K$  – постійна Больцмана;  
 $T$  – температура моторної оливи в зоні контакту поверхонь тертя.

Після підстановки рівнянь (1) і (3) в (2) були визначені області дії силового поля поверхні тертя при різних значеннях дипольного моменту молекул ПАР і різних температурах моторної оливи.

Результати відповідних розрахунків показали, що при збільшенні дипольного моменту на одиницю величина  $r$  майже на порядок зростає. Проте зміна шуканої величини від температури незначна.

Використовуючи теоретичні положення Е.М. Ліфшица і О.С. Ахматова, можна в першому наближенні оцінити відстань між поверхнями тертя, яка визначається товщиною граничних плівок і є одним з головних параметрів, від якого залежить сила тертя.

Повну енергію взаємодії таких конденсуючих фаз можна визначити, як векторну суму енергій

$$W = -W_M - W_{СЛ} + W_O, \quad (4)$$

де  $W_M$  – енергія взаємодії між фазовими поверхнями тертя;  
 $W_{СЛ}$  – енергія притягання між змащувальними шарами;  
 $W_O$  – енергія відштовхування між шарами оливи.

Згідно результатам досліджень, проведених Е.М. Ліфшицем і А.Мюллером, металеві поверхні взаємодіють в області радіусу дії 5000 – 10000 Å, Атракційні сили

граничних шарів мають порядок дії десятки ангстрем, а сили відштовхування виникають в радіусі дії 2 Å. Отже, в рівнянні енергії (4) складову  $W_0$  можна опустити, якщо на даному етапі дослідження вважати, що в даній схемі відсутнє зовнішнє навантаження. Така розрахункова схема може бути використана для випадку визначення товщини змащувальної плівки методом модернізованої стопи О.С. Ахматова. Крім того, оцінюючи радіуси дії енергій в залежності (4) при розгляді повної енергії в цілому з певною погрішністю можна нехтувати складовою  $W_{СЛ}$  і при проведенні розрахунків скористатися тільки першою складовою енергії  $W_M$ . Таке допущення обумовлюється тим, що визначення енергії взаємодії систем полярних вуглеводнів складає великі труднощі, оскільки необхідно встановити ряд констант експериментальним шляхом, що надзвичайно трудомістко. В цьому випадку загальний вид рівняння енергії матиме вигляд:

$$W(H) = \frac{K \cdot T_{II}}{16 \cdot \pi \cdot H^2} \left( \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1} \right)^2, \quad (5)$$

де  $T_{II}$  - температура повітря;  
 $H$  – товщина адсорбованого шару оливи, см;

Рівняння (5) дає можливість встановити змінення питомої енергії  $W$  взаємодії поверхонь тертя в залежності від товщини  $H$  адсорбційного шару молекул ПАР. З графіку, наведеному на рис. 4, видно, що відповідно до рівняння (5), область дії силового поля поверхонь тертя зменшується із зростанням товщини адсорбційного шару зворотно пропорційна його товщині в другому ступені. В точці, що виходить за межі цієї області (близько 10000 Å), видно, що приріст енергії прагне нуля, а сама її величина мізерно мала.

Це говорить про істотне зниження енергії взаємодії конденсуючих фаз і як наслідок, припиненні формування адсорбційного шару. Отже, з аналізу отриманої залежності можна зробити висновок про те, що товщина подвійного адсорбційного шару молекул складає величину, близьку до 10000 Å, що відповідає даним, наведеним у табл. 1.

Рис. 4. Графік залежності області дії енергії від товщини адсорбційного шару молекул:

■●◆ - експериментальні дані досліджень на модернізованій стопі О.С. Ахматова.

Згідно результатів експериментальних досліджень товщина змащувального шару між двома кулями склала в середньому 9371 Å, що достатньо близько корелюється як з гіпотезами Е.М. Ліфшица і А. Мюллера, так і з результатами наших теоретичних досліджень товщини адсорбційних плівок.

**В четвертому розділі** представлено прогнозування показників ресурсозбереження тепловозних дизелів у зв'язку зі зносом елементів кривошипно-шатунного механізму.

В аналітичному вигляді закономірність зношування згідно з дослідженнями, проведеними А.М. Шейніним, може бути виражена таким чином:

$$U(t) = a + v \cdot t^\alpha \quad (6)$$

де  $a$  - початковий знос елементів кривошипно-шатунного механізму;  
 $v$  – коефіцієнт, який залежить від режиму роботи вузла тертя;

$\alpha$  – коефіцієнт, що показує ступінь зміни зносу від часу  $t$ .

В новому тепловозному дизелі або після його поточного ремонту ПР-3 початковий знос циліндро-поршневої групи рівний нулю ( $a = 0$ ). Тоді вираз (6) приймає вигляд

$$U(t) = e \cdot t^\alpha \quad (7)$$

На підставі результатів досліджень на машинах тертя МТЗПР і СМЦ-2 за допомогою програми Microsoft Graph були отримані рівняння залежності сумарного зносу від часу випробувань:

- для зразків, що імітують роботу пари тертя "шийка колінвалу-вкладиш підшипника":

- без анамегатора –  $U = 0,8 t^{1,24}$ ;

- з анамегатором –  $U = 0,42 t^{1,22}$ .

- для зразків, що імітують роботу пари тертя "поршневе кільце, – гільза циліндру":

- без анамегатора –  $U = 0,73 t^{1,15}$ ;

- з анамегатором –  $U = 0,38 t^{1,07}$

Таким чином, вперше нами були встановлені значення коефіцієнтів  $b$  та  $\alpha$  в рівняннях (6) і (7) для пар тертя, що найбільш зношуються в тепловозних дизелях типу 5Д49 та 10Д100.

Оскільки забезпечення ресурсозбереження дизеля тепловоза в експлуатації пов'язано з великими матеріальними, трудовими і енергетичними витратами, то як критерій оптимізації можна прийняти мінімум питомих сумарних витрат. Вони включають витрати на технічне обслуговування, ремонт і паливно-мастильні матеріали. Найбільше розповсюдження при рішенні такої задачі отримали моделі оптимізації, розроблені А.М. Шейніним.

Сумарні витрати в цьому випадку можна представити у вигляді:

$$C_{(t)} = \frac{n_y(t)}{M} \cdot \frac{C_{ам} + C_p + C_{кп}}{T} + \sum_i \frac{C_{обі}}{t_{обі}}, \quad (8)$$

де  $n_y(t)$  - число ремонтних циклів за термін служби тепловозного дизеля до списання;

$C_{ам}$  - середня величина амортизаційних відрахувань за один ремонтний цикл дизеля;

$C_p$  - витрати на усунення відмов і несправностей тепловозного дизеля за один ремонтний цикл;

$C_{кп}$  - витрати на компенсацію втрат унаслідок зниження продуктивності і збільшення витрати змащувальних матеріалів при зносі деталей дизеля протягом одного ремонтного циклу;

$C_{об}$  - витрати на технічне обслуговування дизеля;

$T$  - ресурс до першого капітального ремонту;

$t_{об}$  - періодичність технічного обслуговування;

У разі використання анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" рівняння (8) можна використовувати для визначення умовного (окремого) ресурсу тепловозного дизеля до поточного ремонту ПР-3. В цьому випадку  $n_u(t) = 1$ .

Після відповідних математичних перетворень було отримано наступне рівняння для визначення зносу деталей кривошипно-шатунного механізму

$$U_K = \left( \frac{C_{ам}}{k(\beta - 1)} \right)^{1/\beta}, \quad (9)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що відображає характер залежності зміни зносу від величини амортизаційних відрахувань, величина якого згідно літературним джерелам складає  $2,89 \cdot 10^{-4}$ ;

$\beta$  – показник ступеня, обумовлений конструкцією і функціональним призначенням сполучення (в даному випадку - кривошипно-шатунного механізму).

Число обслуговувань за умовний (частний) ресурс визначалось з рівняння

$$N_{об} = \frac{\beta \cdot (\alpha - 1) \cdot C_{ам}}{C_{об} \cdot (\beta - 1)}. \quad (10)$$

Рациональна періодичність технічних обслуговувань дизеля тепловоза:

$$t_{об.рац.} = \left( \frac{I}{\nu \cdot N_{об}} \right)^{1/\alpha}. \quad (11)$$

В результаті розрахунків були отримані значення межового зносу пар тертя кривошипно-шатунного механізму, розрахункові кількість технічних обслуговувань ТО-3 та їх періодичність (табл. 2).

Таблиця 2

Розрахункові значення граничного зносу, кількість та періодичність ТО-3 до ПР-3

Варіант експлуатації дизеля	"колінвал-вкладиш"	"гільза-кільце"
<b>граничний знос для пар тертя, мкм</b>		
без застосування анамегатора	402	260
із застосуванням анамегатора	251	186
<b>кількість ТО-3</b>		
без застосування анамегатора	30,34	30,45
із застосуванням анамегатора	26,6	27,09
<b>періодичність ТО-3, км</b>		
без застосування анамегатора	9581	10462
із застосуванням анамегатора	12832	11234

З наведених в табл. 2 даних видно, що за рахунок зниження зносу елементів кривошипно-шатунного механізму при використанні анамегатора збільшується періодичність ТО-3 та як наслідок, зменшується їх кількість (з 30 до 27).

Рис. 5. Криві зносу деталей елементів кривошипно-шатунного механізму.

Як відомо, при граничному зносі деталей циліндро-поршневої групи подальша експлуатація тепловозного дизеля неможлива, тобто необхідно проведення ПР-3.

Активация моторной оливы приводит до зниження швидкості зношування, тобто до збільшення часу експлуатації до його проведення. У зв'язку з цим представимо закономірність зношування пар тертя кривошипно-шатунного механізму дизелів при використанні анамегатору кривою 1, а за відсутності останнього – кривою 2 (рис. 5). Ці закономірності зношування можна уявити в вигляді прямої 3, що згідно до досліджень А.М.Шейніна є припустимим для вирішення задачі з визначення параметрів ресурсозбереження.

Як видно з наведених графіків, при використуванні анамегатора моторної оливи "Diamond Ozerol МП-10" для дизеля тепловоза 5Д49 за рахунок зниження зносу його пар тертя представляється можливим подовжити терміни експлуатації до поточного ремонту ПР-3 з 300 тис. км, до 400 тис. км.

## ВИСНОВКИ

На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити наступні загальні висновки.

1. На основі аналізу чинників, що характеризують умови експлуатації тепловозних дизелів, встановлено, що їх ресурс майже вичерпано.

2. Відомі з літературних джерел технології ресурсозбереження двигунів внутрішнього згоряння достатньо ефективні, проте вони конструктивно складні і вимагають істотної переробки конструкції двигуна. Тому доцільно використовувати нову альтернативну технологію, що дозволяє збільшити ресурс дизелів тепловозів шляхом активації моторних оливи перед їх застосуванням.

3. Відповідно до відомостей, наведених у вітчизняній і зарубіжній літературі, найбільш перспективною технологією є активация моторних оливи введенням в них анамегатора "Diamond Ozerol МП-10".

4. Результатами теоретичних досліджень встановлено, що механізм підвищення ресурсу тепловозних дизелів полягає в тому, що введення в моторну оливу активатора сприяє покращенню протизношувальних властивостей моторних оливи за рахунок утворення на поверхнях тертя подвійного граничного шару. Вказаний механізм підвищення ресурсу тепловозних дизелів за рахунок поліпшення протизношувальних властивостей оливи М-14-В<sub>2</sub> і М-14-Г<sub>2</sub>ЦС, вживаних в системах змащування, найбільш поширених на підприємствах Укрзалізниці тепловозних дизелів типу 5Д49 і 10Д100, в результаті введення в них активатора "Diamond Ozerol МП-10" достатньо добре корелюється з результатами експериментальних досліджень.

5. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що при введенні в моторні оливи анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" знос зразків, що імітують роботу пари тертя "шийка колінчастого валу – вкладиш підшипника", зменшується як для оливи М-14-В<sub>2</sub> (в середньому, в 2,85 рази), так і для М-14-Г<sub>2</sub>ЦС (в середньому, в 2,85 рази). При випробуваннях зразків, що імітують роботу пари тертя "поршневе кільце – гільза циліндра", знос також знижується: кільця - в середньому в 1,7 рази, гільзи - в середньому в 1,54 рази. При випробуваннях зразків, що імітують роботу вищих кінематичних пар тертя двигуна, встановлено зменшення діаметра плями зносу (при використанні оливи М-14-В<sub>2</sub> - в 1,37 рази, оливи М-14-Г<sub>2</sub>ЦС - в 1,27 рази).

6. Експериментальним шляхом встановлено, що мінімально необхідна концентрація активатора "Diamond Ozerol МП-10" в моторній оливі М-14-В<sub>2</sub> складає 0,11%, а в оливі М-14-Г<sub>2</sub>ЦС – 0,08%. Збільшення концентрації анамегатора не приводить до адекватного поліпшення протизношувальних властивостей оливи, а зниження концентрації менше вищезгаданої також сприяє поліпшенню протизношувальних властивостей оливи, проте в значно меншій ступені.

7. Застосування в моторній оливі активатора приводить до зміцнення приповерхневого шару тертя, що проявляється в збільшенні поверхневої густини дислокацій (в середньому на 23%), мікронапружень (в середньому на 15%) і, як наслідок, зниженню розміру ОКР (в середньому на 5%). При цьому спостерігається пластичне вигладжування поверхні, тобто зменшення її шорсткості (в середньому на 25%).

8. При введенні активатора "Diamond Ozerol МП-10" в моторні оливи М-14-В<sub>2</sub> і М-14-Г<sub>2</sub>ЦС за рахунок поліпшення їхніх протизношувальних властивостей прогнозується збільшення умовного (до ПР-3) ресурсу дизелів приблизно в 1,3 рази, а також періодичності технічного обслуговування.

9. Впровадження запропонованої технології ресурсозбереження тепловозних дизелів шляхом активації змащувальних оливо анамегатором "Diamond Ozerol МП-10" дозволяє отримати економічний ефект в розмірі 541 грн на одну секцію тепловоза.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горбань В.Г. Физико-химические и противоизносные свойства моторного масла с анамегатором // Вестник ХНАДУ. - Х.: ХНАДУ, 2004. – Вып. 27.- С.133-135.

2. Венцель Є.С., Горбань В.Г., Грінчук О.І. Змащуючі здібності моторної оливи, що містить анамегатор // Автомобіле- і тракторобудування: Зб. наук. праць. Вісник НТУ "ХПІ".- Х.: НТУ "ХПІ", 2005. – №13. - С.133-136.

3. Лисіков Є.М., Венцель Є.С., Горбань В.Г. Механізм утворення двошарового межового змащення при наявності в моторній оливі анамегатора "Озерол МП-10" // Зб. наук. праць УкрДАЗТ.- Х.: УкрДАЗТ, 2005. – Вип.68.- С.277-283.

4. Лысиков Е.Н., Венцель Е.С., Горбань В.Г. К определению области действия силового поля поверхности трения и толщины адсорбционной пленки // Зб. наук. праць УкрДАЗТ.- Х.: УкрДАЗТ, 2006. – Вип.72. - С.185-190.

5. Венцель Є.С., Жалкін С.Г., Горбань В.Г. Протизношувальні властивості модифікованої моторної оливи // Підвищення ефективності перевантажувальних, будівельних і колійних робіт на транспорті: Зб.наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2006.- Вип. 73. - С. 60-65.

### АНОТАЦІЯ

Горбань В.Г. Забезпечення ресурсозбереження тепловозних дизелів активацією змащувальних оливо. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2007 р.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі – підвищенню ресурсозбереження тепловозних дизелів.

З цією метою в дисертаційній роботі запропонована нова технологія - активація змащувальних оливо для дизелів тепловозів анамегатором "Diamond Ozerol МП-10". Це значно покращує протизношувальні та антифрикційні властивості моторних оливо.

Наведено результати експериментальних досліджень активації моторних оливо, що свідчать про позитивний вплив анамегатору на їх протизношувальні та антифрикційні властивості, а також встановлено мінімально необхідну концентрацію активатора в моторній оливі. Теоретично обґрунтовано доцільність активації змащувальних оливо шляхом додавання до їх складу анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" та визначено механізм позитивного впливу активатора на їх експлуатаційні властивості оливо.

Надано прогнозування підвищення показників ресурсозбереження тепловозних дизелів в результаті активації моторних оливо анамегатором "Diamond Ozerol МП-10".

Економічний ефект від впровадження анамегатора складає 541 грн/рік на одну секцію тепловоза.

Результати роботи впроваджені у локомотивному депо Основа Південної залізниці.

Ключові слова: моторна олива, активатор, пари тертя, двошарове змащення, межові шари, ресурсозбереження, кривошипно-шатунний механізм.

## АННОТАЦІЯ

Горбань В.Г. Обеспечение ресурсосбережения тепловозных дизелей активацией смазочных масел.- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2007 г.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи – повышению ресурсосбережения тепловозных дизелей.

Обеспечение ресурсосбережения тепловозных двигателей внутреннего сгорания в значительной мере связано со свойствами моторных масел, в частности, противоизносными. Существующие в настоящее время методы их улучшения, безусловно, являются перспективными для обеспечения ресурсосбережения тепловозных дизелей, однако, все эти методы либо весьма дорогостоящи, либо требуют значительного переоборудования системы смазки двигателей. Кроме того, эти методы являются не всегда эффективными, поскольку в настоящее время тепловозный парк Укрзалізниці фізически устарел, в связи с чем ресурс дизелей близок к предельному.

В настоящей диссертации для обеспечения ресурсосбережения тепловозных дизелей предлагается улучшение противоизносных и антифрикционных свойств моторных масел путем использования анамегатора "Diamond Ozerol МП-10".

Испытания на машинах трения показали значительное улучшение противоизносных и антифрикционных свойств моторных масел после добавления в них активатора "Diamond Ozerol МП-10". При этом было получено значение минимально необходимой концентрации анамегатора в смазочных маслах М-14-В<sub>2</sub> и М-14-Г<sub>2</sub>ЦС, применяемых в тепловозных дизелях. Металлографические исследования поверхностей образцов, которые использовались при испытаниях на машине трения, показали, что в результате контакта с активированным моторным маслом повышается поверхностная плотность дислокаций и микронапряжения, а также снижаются размеры областей когерентного рассеяния и улучшается чистота приповерхностных слоев. Кроме того, испытания, проведенные на модернизированной стопе А.С.Ахматова, показали, что применение анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" способствует созданию относительно более толстых граничных смазочных слоев.

Путем теоретических исследований установлено, что при введении дополнительной присадки – анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" образуется двухслойная смазочная пленка на поверхностях трения. При этом первый слой формируется из молекул анамегатора "Diamond Ozerol МП-10", а второй - из молекул присадки, находящейся в базовом моторном масле. Такая структура адсорбционного слоя позволяет снизить интенсивность изнашивания трущихся поверхностей трения за счет усиления разделяющего эффекта и снижения, таким образом, адгезионной составляющей силы трения. Наличие двухслойной адсорбционной пленки объясняет механизм положительного влияния анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" на противоизносные свойства моторных масел.

Согласно теоретическим данным изменение энергии по толщине адсорбционного слоя имеет нелинейный характер, и при толщине адсорбционного слоя около 1 мкм влияние энергии силового поля практически исчерпывается, что соответствует результатам экспериментальных исследований, проведенных на модернизированной стопе А.С.Ахматова.

Для прогнозирования ресурсосбережения дизельных двигателей магистральных тепловозов целесообразно в качестве критерия оптимизации определяющих факторов принять минимум удельных суммарных затрат, которые включают в себя затраты на техническое обслуживание, ремонт дизеля и повышение расхода горюче-смазочных материалов.

При использовании анамегатора моторного масла "Diamond Ozerol МП-10" для тепловозного дизеля 5Д49 за счет снижения износа его пар трения представляется возможным увеличить периодичность технического обслуживания ТО-3, за счет чего сократить их количество, а также увеличить условный (до ТР-3) ресурс тепловозных дизелей.

Экономический эффект от внедрения анамегатора "Diamond Ozerol МП-10" в моторных маслах дизелей тепловозов приписки депо Основа Южной железной дороги составляет 541 грн. в год на одну секцию тепловоза.

Материалы диссертационной работы внедрены в депо Основа Южной железной дороги.

Ключевые слова: моторное масло, активатор, пары трения, двухслойная смазка, граничные слои, ресурсосбережение, кривошипно-шатунный механизм.

### ABSTRACT

Gorban V.G. Providing resource-saving of diesel locomotive engines by activating lubricating oils. – Manuscript.

Thesis for the scientific degree of candidate of technical sciences in specialty 05.22.07 – rolling stock of the railways and train hauling operation. – Ukrainian State Railway Academy; Kharkiv, 2007.

The thesis deals with solving the actual scientific task – increasing resource-saving of diesel locomotive engines.

With this aim a new technology is offered in the thesis – activation of lubricating oils for the diesel locomotive engines with the "Diamond Ozerol MP-10" anamegator. This improves wear-preventive and antifriction properties of motor oils significantly.

The results of the experimental research of activation of motor oils that prove then positive influence of the anamegator on their wear-preventive and antifriction properties are presented; minimally required concentration of the activator in the motor oil was determined. Expediency of activation of lubricating oils by adding "Diamond Ozerol MP-10" anamegator to them was theoretically grounded and the mechanism of positive influence of the activator on the operating properties of oils was described.

Forecasts of the increase of resource-saving performance of the locomotive diesel engines as result of activation of motor oils with "Diamond Ozerol MP-10" anamegator are given.

The economic effect from implementing the anamegator is 541 UAH/year for one locomotive section.

The results of the research are implemented in the "Osnova" locomotive depot of the Southern Railway.

Keywords: motor oil, activator, friction pairs, two-layer lubrication, border layers, resource-saving, crank gear.



Горбань Валентина Геннадіївна

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТЕПЛОВИЗНИХ  
ДИЗЕЛІВ АКТИВАЦІЄЮ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ОЛИВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск

к.т.н., доц. Кравець А.М.

Надруковано згідно з оригіналом автора

---

Підписано до друку 12 жовтня 2007 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір офсетний.

Умовн.-друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1.

Замовлення №\_\_\_\_\_. Тираж 100 примірників.

---

Видавництво УкрДАЗТ, свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТ

61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.