

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

СТЕФАНОВ ВОЛОДИМИР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 625.144.6:62-82.004.62

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ГІДРОАГРЕГАТІВ ЗАСОБІВ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ
ФОРМУВАННЯ ЗМАЩУВАЛЬНОГО ШАРУ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Воронін Сергій Володимирович, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Полянський Олександр Сергійович, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра технології машинобудування та ремонту машин, професор кафедри;

доктор технічних наук, професор
Панченко Анатолій Іванович, Таврійський державний агротехнологічний університет, кафедра мобільних і енергетичних засобів, завідувач кафедри.

Захист відбудеться "___" _____ 2013 року о ____ 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 "_____" _____ 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

На засобах залізничного транспорту залізниць України широке розповсюдження отримали поршневі гідравлічні мотори та насоси, гідроциліндри і гідропередачі, які використовуються для: приводів колісних пар тепловозів ТГМЗА, ТГМ-9, ТГМ-40 та інш.; вентиляторів охолоджуючих систем тепловозів ТЭП-70; робочих органів виправно-підбивно-рихтувальних машин ВПР та ВПРС. Унаслідок високої вартості агрегатів гідравлічних приводів і передач, а також великої трудомісткості робіт їх ремонту, виникає необхідність розробки і впровадження ресурсозберігаючих технологій, направлених на удосконалення конструкцій агрегатів і поліпшення характеристик робочих рідин.

Як показують раніше проведені дослідження, одним з ефективних способів підвищення ресурсу гідроагрегатів, є обробка робочих рідин зовнішнім електростатичним полем. При дії такого поля на робочу рідину в гідроприводах і гідропередачах відбуваються наступні позитивні явища:

- зростає захисна функція робочих рідин, пов'язана із запобіганням втрат на тертя і знос в гідравлічних агрегатах;
- ресурс агрегатів збільшується за рахунок зниження зносу деталей.

Проведений аналіз наукових робіт в області обробки робочих рідин зовнішніми силовими полями показав, що даний процес є актуальним з погляду його застосування на засобах залізничного транспорту. Проте, в цих дослідженнях не вивченими залишаються закономірності впливу концентрації присадок в робочих рідинах, оброблених електростатичним полем, на ресурс гідроагрегатів засобів залізничного транспорту. Тому необхідно розробити теоретичні та експериментальні методи по виявленню цих закономірностей впливу на ресурс гідроагрегатів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась в рамках програми «Підвищення надійності і довговічності машин і конструкцій», яка затверджена в постанові Верховної Ради України № 2705 від 16.10.1992 з подальшими доповненнями; і згідно з Концепцією і Програмою розвитку і модернізації залізничного транспорту України, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України № 651 від 27.12.2006; науковому напрямку Української державної академії залізничного транспорту, науково-дослідній роботі на тему: «Розробка енергозберігаючої технології використання рідких мастильних матеріалів на залізничному транспорті» (№ДР 0107U000339).

Мета і задачі дослідження.

Метою даної роботи є підвищення довговічності гідроагрегатів засобів залізничного транспорту шляхом встановлення раціональної концентрації присадки в робочій рідині в умовах її електростатичної обробки при їх технічній експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні основні задачі:

1. Провести аналіз по визначенню гідроагрегатів засобів залізничного транспорту, на долю яких приходиться більшість відмов.

2. Провести аналіз науково-дослідних робіт, спрямованих на підвищення довговічності поршневих гідравлічних насосів та моторів шляхом інтенсифікації формування змащувального шару.

3. Встановити закономірність впливу концентрації присадки в робочій рідині та її обробки електростатичним полем на товщину граничного змащувального шару та ресурс поршневих гідравлічних насосів і моторів.

4. Розробити методику проведення експериментальних досліджень механізму формування змащувального шару на поверхнях деталей поршневих насосів та моторів засобів залізничного транспорту при змінній концентрації присадки і температури робочої рідини в умовах її електростатичної обробки.

5. Провести експериментальні дослідження впливу концентрації присадки, температури та електростатичної обробки робочої рідини на товщину граничного змащувального шару.

6. Випробуваннями на машині тертя встановити раціональну концентрацію присадки в обробленій електростатичним полем робочої рідини та її вплив на приріст ресурсу поршневих насосів та моторів.

7. Розробити практичні рекомендації по підвищенню довговічності поршневих насосів та моторів засобів залізничного транспорту при підтримці раціональної концентрації присадки та електростатичній обробці робочих рідин в процесі технічної експлуатації.

Об'єкт дослідження – процес інтенсифікації формування змащувального шару в гідроагрегатах засобів залізничного транспорту в умовах підтримки раціональної концентрації присадки в робочій рідині та її електростатичної обробки.

Предмет дослідження – ресурс поршневих гідравлічних насосів та моторів засобів залізничного транспорту при підтримки раціональної концентрації присадки в робочій рідині та її електростатичній обробці.

Методи дослідження.

Теоретичні дослідження впливу концентрації присадки в робочій рідині та її обробки електростатичним полем на ресурс гідроагрегатів засобів залізничного транспорту проводилося на базі теорії надійності, методу системного аналізу, сучасних положень фізики, триботехніки, механіки. Це дозволило розробити теоретичну модель, встановити закономірності впливу концентрації присадки при електростатичній обробці робочої рідини на ресурс поршневих насосів та моторів засобів залізничного транспорту.

При проведенні експериментальних досліджень використовувалися основи теорії планування і обробки експериментальних даних, методи математичної статистики, що дозволило встановити емпіричні залежності між швидкістю зносу вузлів тертя поршневих насосів і моторів та концентрацією присадки в робочій рідині при її електростатичній обробці.

Наукова новизна одержаних результатів.

В дисертаційній роботі новизна наукових положень і результатів полягає у наступному:

- вперше науково обґрунтована раціональна концентрація присадки в робочій рідині при електростатичній обробці (комплексній обробці робочої рідини), що

сприяє інтенсифікації формування змащувального шару та збільшенню довговічності гідроагрегатів засобів залізничного транспорту;

- вперше розроблений спосіб підвищення ресурсу поршневих гідравлічних насосів та моторів засобів залізничного транспорту, який полягає в застосуванні робочої рідини із раціональною концентрацією присадки та електростатичної обробки цієї рідини при їх технічній експлуатації;

- вперше отримані розрахункові залежності, які дозволяють встановлювати раціональну концентрацію присадки в робочій рідині при її електростатичній обробці;

- вперше розроблено процедуру проведення комплексного експерименту для дослідження процесу впливу концентрації присадки та обробки робочої рідини на приріст ресурсу поршневих насосів та моторів.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблений пристрій для обробки робочої рідини електростатичним полем і практичні рекомендації по його застосуванню в гідравлічній системі колійної машини ВПР-1200. Пристрій дозволяє збільшити ресурс поршневих насосів та моторів машини до 2х разів за умови підтримки раціональної концентрації присадки в робочій рідині;

- результати досліджень використовуються в учбовому процесі кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту в дисциплінах "Основи нанотехнологій", "Основи надійності і експлуатаційні матеріали", "Способи підвищення надійності і економії нафтопродуктів".

Особистий внесок здобувача.

Усі наукові результати роботи отримані особисто автором та проводилися в Українській державній академії залізничного транспорту. В роботах, опублікованих із співавторами, особисто здобувачем були отримані такі розробки і наукові результати: у статті [1] визначений розподіл молекул присадки робочої рідини по гідравлічній системі колійної машини; у статті [2] розроблена методика визначення товщини граничної змащувальної плівки на поверхнях тертя гідроприводів колійних машин; у статті [3] визначена раціональна концентрація присадки в робочій рідині, при якій формується максимально-можливий змащувальний шар; у статті [4] та [7] встановлений вплив електростатичної обробки робочої рідини ресурс гідроагрегатів засобів залізничного транспорту; у статті [5] та [8] експериментально встановлено вплив концентрації присадки та електростатичної обробки робочої рідини на ресурс засобів транспорту; у [6] розроблений пристрій для обробки робочих рідин в гідросистемі засобів залізничного транспорту.

Апробація результатів дисертації.

Результати роботи докладалися і обговорювалися:

- на 72-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми и перспективы железнодорожного транспорта» (м. Дніпропетровськ, 2012);

- на 8-й міжнародній науково-практичній конференції "Дни науки", секція «Технічні науки, транспорт» (м. Прага, 2012).

Повністю результати дисертаційної роботи докладалися на кафедрі будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради Д64.820.04, на кафедрі «Системотехніка і технології лісового комплексу» Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка, на кафедрі «Колісні та гусеничні машини» Національного технічного університету.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 8 наукових праць, у тому числі 5 наукових статей, 1 патент на корисну модель, 2 тези доповідей у спеціалізованих виданнях, затверджених Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України, як фахові.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 153 сторінки, з яких обсяг основного тексту 136 сторінок. Робота ілюстрована 45 рисунками, з них на 2 сторінках рисунки, що займають повну площу листа, наведено 28 таблиць, з них на 3 сторінки таблиці, що займають повну площу листа, список використаних джерел із 112 найменувань на 13 сторінках і 1 додаток на 2 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

Перший розділ присвячений огляду і аналізу науково-дослідних робіт, які пов'язані з підвищенням ресурсу гідроагрегатів колійних машин, систем охолодження тепловозів та поліпшенню характеристик гідравлічних рідин які використовуються на залізничному транспорті. Визначено розподіл по відмовам вузлів гідроагрегатів які використовуються на засобах залізничного транспорту рисунок 1:

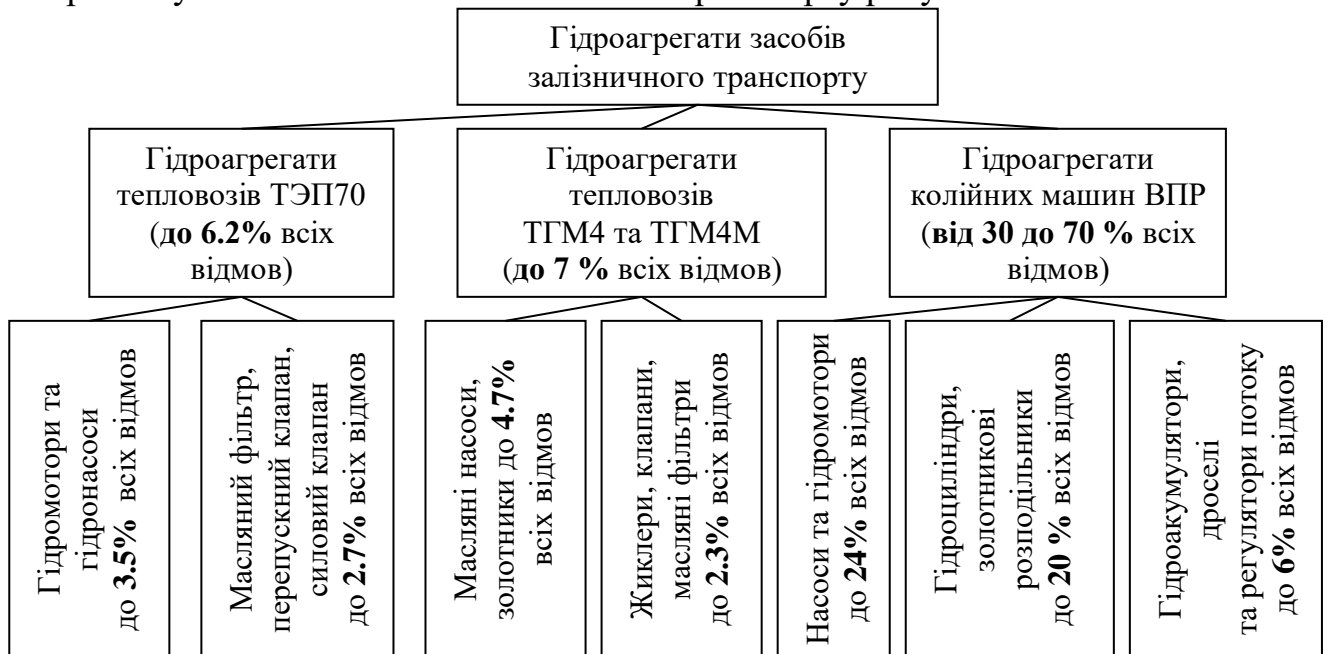


Рис. 1. Схема розподілу по відмовам гідроагрегатів засобів залізничного транспорту

Встановлено, що найбільша доля відмов гідроагрегатів має місце в колійних машинах, наприклад ВПР та ВПРС. Найбільш відповідальними та коштовними елементами гідроприводу є поршневі гідравлічні насоси, мотори та циліндри, а також золотникові елементи. Їх ресурс (таблиця 1) при рівних інших умовах пов'язаний із якістю використаної робочої рідини.

Таблиця 1 - Ресурс елементів гідроприводу колійних машин ВПР та ВПРС

Елементи гідроприводу колійних машин	Ресурс, год.		
	Мінімальний	Середній	Максимальний
Поршневі гідравлічні насоси та мотори	1000	3000	5000
Гідроциліндри	1000	3700	6400
Гідропневмоакумулятори	10000	12500	15000
Клапани тиску, клапани запобіжно-переливні	3000	8000	13000
Зворотні клапани	10000	15000	20000
Розподільники золотникові	4500	5500	6500
Регулятори потоку	2500	6250	10000

На основі проведеного аналізу, обґрунтовано актуальність досліджень впливу концентрації присадки в робочих рідинах на ресурс поршневих гідравлічних насосів та моторів колійних машин. Встановлена мета та задачі досліджень.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням впливу концентрації присадки в робочих рідинах на ресурс гідроагрегатів засобів транспорту та визначенню раціональної концентрації цієї присадки, при якій досягається максимальне збільшення ресурсу в умовах електростатичної обробки робочої рідини.

Ресурс таких агрегатів, як поршневі гідравлічні насоси та мотори, визначається по величині граничного об'ємного ККД і інтенсивності зношування плунжерних пар. Згідно роботи Флайшера та Крагельського щодо зв'язку інтенсивності зношування із тертям ресурс визначається наступною залежністю

$$T \approx \frac{2 \cdot S_{\phi} \cdot (k + 1) \cdot HB \cdot (\eta_0 - \eta_{\min})}{N \cdot f \cdot v}, \quad (1)$$

де S_{ϕ} – фактична площа контакту в поршневій групі, m^2 ; N – навантаження в контакті, H ; k – коефіцієнт, залежний від виду зносу; HB – твердість матеріалу, що зношується, H/m^2 ; f – коефіцієнт тертя; v – швидкість зношування агрегату, а саме швидкість зміни його об'ємного ККД, $\frac{1}{год}$.

В залежності (1) основним чинником, який залежить від концентрації присадки в робочій рідині є S_{ϕ} ,

$$S_{\phi} = f(h), \quad (2)$$

де h – товщина граничної змащувальної плівки молекул присадки, яка є функцією концентрації присадки в робочій рідині, тоді закономірність (1) запишеться у вигляді:

$$T \approx \frac{2 \cdot S_{\phi}(C) \cdot (k+1) \cdot HB \cdot (\eta_0 - \eta_{\min})}{N \cdot f \cdot v}, \quad (3)$$

де C – концентрація присадки в робочій рідині, %.

Подальші дослідження роботи спрямовані на пошук раціональної концентрації протизносної присадки при якій ресурс агрегату буде мати максимальні значення при інших рівних умовах.

В роботі висунута гіпотеза, суть якої полягає в тому, що з урахуванням ступеня поверхневої активності присадки, існує така концентрація присадки, яка забезпечує приріст ресурсу гідроагрегатів на максимальному рівні. Згідно цієї гіпотези, на першому етапі розглянутий механізм формування змащувальної плівки на поверхнях тертя. При цьому припускали, що поверхні абсолютно гладкі і граничний шар складається тільки з молекул поверхнево-активних речовин (не включає ні частинок зносу ні різного роду забруднень). Схематично адсорбційний шар можна уявити таким чином (рис.2).

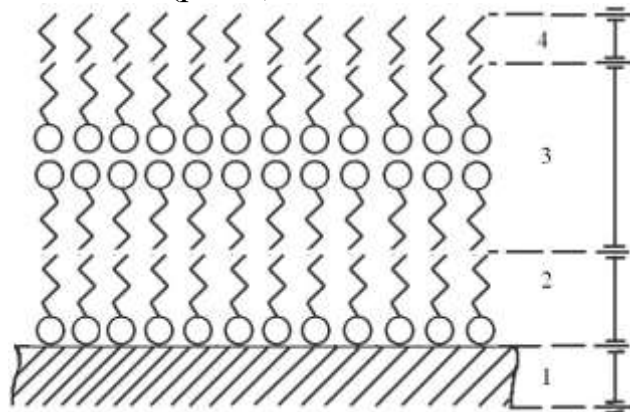


Рис. 2. Схема формування змащувальної плівки на поверхнях тертя:
1 – поверхня ; 2 – мономолекулярний шар; 3 – дімерні ряди; 4 – сольватна «шуба»

Фізичну картину такого адсорбційного шару можна охарактеризувати декількома зонами. Друга і третя зони містять моношар і дімерні ряди поверхнево-активних речовин (ПАР). Вони визначаються головними характеристиками: природою поверхні металу і дипольним моментом молекул ПАР. Ця зона володіє властивостями твердого тіла і є значущою для теорії граничних явищ.

Четверта зона граничного шару обумовлена взаємодією полярних молекул (поверхнево-активних речовин) і неполярних молекул (базового масла). Оскільки ПАР володіють своїм постійним дипольним моментом, то під дією їх полів, утворюються різні асоціати, як між собою, так шляхом комбінації молекул базового масла і молекул поверхнево-активних речовин. Слід помітити, що зважаючи на слабкість міжмолекулярних зв'язків, такі асоціати мають обмежений час життя, оскільки під дією температури і механічних сил можуть руйнуватися і асоціювати знову.

Далі розглядався стан і розподіл молекул присадки по гідроагрегатах колійних машин. В першому наближенні, можна виділити найбільш значні для розрахунку вузли гідроагрегатів: поверхні тертя в поршневих насосах та моторах колійних машин ВПР та ВПРС; фільтри; бак; компоненти робочої рідини (рис. 3).

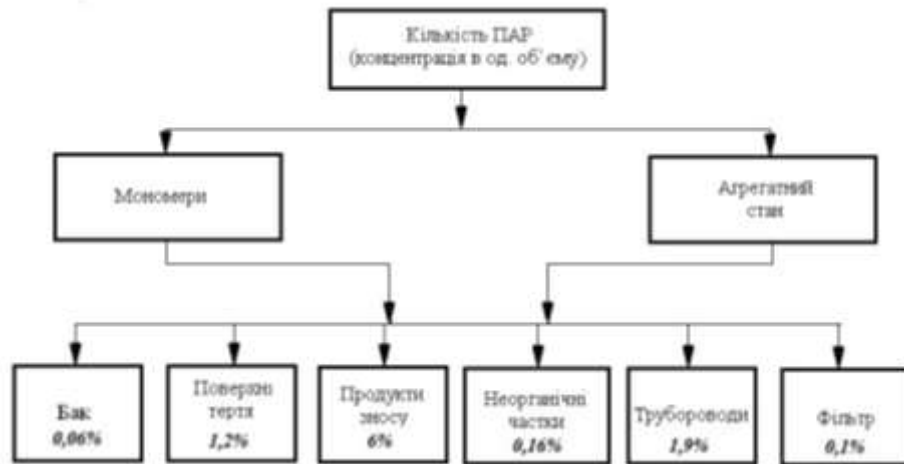


Рис. 3. Розподіл молекул присадки по елементах гідравлічної системи колійних машин ВПР та ВПРС

Поверхнево-активні речовини, взаємодіючи між собою, можуть асоціювати утворюючи різного роду агрегати (дімери, міцели і т.п.). Це виникає у тому випадку, коли концентрація ПАВ в базовому мастилі перевищує критичну концентрацію міцелоутворення (ККМ). На першому етапі розрахунку витрати ПАВ по гідросистемі посилаємося на фізико-хімічні процеси їх взаємодії між собою.

Процес міцелоутворення ПАВ в робочій рідині може бути описаний за допомогою термодинамічного рівняння Гіббса

$$\Delta G_M = RT \ln (C), \quad (4)$$

де ΔG_M - зміна енергії Гіббса, Дж; R – універсальна газова постійна, R=8,31; T – температура робочої рідини, К; C – критична концентрація міцелоутворення, моль/л.

Для ефективного формування адсорбційного шару на поверхнях тертя необхідно, щоб всі молекули ПАВ знаходилися в мономерному стані. Такий процес описується умовою

$$W_{ПАВ} \geq W_{кТ}, \quad (5)$$

де $W_{кТ}$ – енергія теплових коливань; $W_{ПАВ}$ – енергія взаємодії мономера ПАВ з поверхнею металу.

Оскільки всі молекули ПАВ в робочій рідині знаходяться у формі асоціатів, то для розрахунку процесу адсорбції необхідно враховувати не тільки енергію кТ, але і енергію взаємодії молекул між собою W_M (енергію Гіббса). Отже, умова буде мати вигляд

$$W_{ПАВ} \geq W_M = \Delta G_M. \quad (6)$$

Для визначення $W_{ПАР}$ скористаємося моделлю «желе». Поверхню тертя уявляємо у вигляді набору мікроскопічних півкуль радіусом R_a , розташованих із певним періодом c_0 (рис. 4). Вважаємо, що одинока молекула ПАР взаємодіє з одною півкулею, поверхня якої будується із атомарних сходинок, тобто атомарної шорсткості, визначеної періодом решітки.

Енергія взаємодії молекули ПАР з поверхнею тертя

$$W_{ПАР} = -pE_d = -\frac{py}{2ee_0} \cdot \left(1 - \frac{d}{\sqrt{b^2 + d^2}}\right), \quad (7)$$

де p - дипольний момент молекули; y - поверхнева щільність заряду; e - діелектрична проникність робочої рідини; e_0 - абсолютна діелектрична проникність у вакуумі; d - відстань від молекули ПАР до поверхні тертя; b - радіус площі контакту.

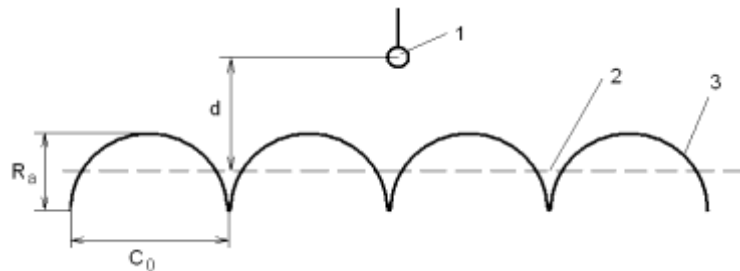


Рис. 4. Модель поверхні тертя в гідроагрегатах засобів транспорту:

1 – молекула ПАР; 2 – середня лінія виступів; 3 – поверхня тертя

Енергія взаємодії молекули ПАР в агрегаті

$$W_M = \frac{-RT \ln(C)}{N_a}. \quad (8)$$

Розроблена фізико-математична модель формування змащувального шару на поверхнях тертя з урахуванням електростатичної обробки і концентрації молекул ПАР в робочій рідині транспортних систем. В даній моделі робоча рідина (РР) рухається у вигляді пластин шириною, рівній максимально можливій товщині адсорбційного шару на поверхні тертя. Ураховуючи, що при збільшенні концентрації присадки мономери ПАР асоціюють в різні агрегати, ця товщина приймається від відстані, при якій силове поле поверхні може руйнувати міцели і тим самим адсорбувати молекули ПАР. Теоретично розраховані значення товщини адсорбційного шару в залежності від концентрації з урахуванням електростатичної обробки робочої рідини наведені на (рис. 5).

Теоретичний розрахунок товщини змащувального шару на поверхнях тертя з урахуванням концентрації присадки в робочій рідині, обробленої електростатичним полем, наведені в наступних виразах:

$$h_0 = \int_0^{n(c)} \left[b \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{2ee_0KT}{py}\right)^2}}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{2ee_0KT}{py}\right)^2}} \cdot C \right] dn, \quad (9)$$

$$h_{\delta o} = \int_0^{n(c)} b \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{2ee_0 W_M}{py}\right)^2}{1 - \left(1 - \frac{2ee_0 W_M}{py}\right)^2}} \cdot C \, dn, \quad (10)$$

де h_o – товщина змащувального шару на поверхнях тертя при обробці робочої рідини електростатичним полем; $h_{\delta o}$ – товщина змащувального шару на поверхнях тертя без обробки робочої рідини електростатичним полем; C – концентрація присадки, %; $n(c)$ – кількість необхідних проходів робочої рідини для формування необхідного граничного шару з урахуванням концентрації присадки; W_M – енергія взаємодії молекули ПАР в агрегаті, Дж.

Враховуючи залежність (3), співвідношення ресурсів вузлів тертя гідроагрегатів з використанням електрообробки робочої рідини T_o та без неї $T_{\delta o}$ можна надати у вигляді

$$\frac{T_o}{T_{\delta o}} = \frac{2 \cdot S_o(C) \cdot (k+1) \cdot HB \cdot (\eta_0 - \eta_{\min}) \cdot N \cdot f \cdot v}{N \cdot f \cdot v \cdot 2 \cdot S_{\delta o}(C) \cdot (k+1) \cdot HB \cdot (\eta_0 - \eta_{\min})} = \frac{S_o(C)}{S_{\delta o}(C)}, \quad (11)$$

де $S_{\delta o}$, S_o – фактична площа контакту до і після обробки робочої рідини електростатичним полем відповідно, м².

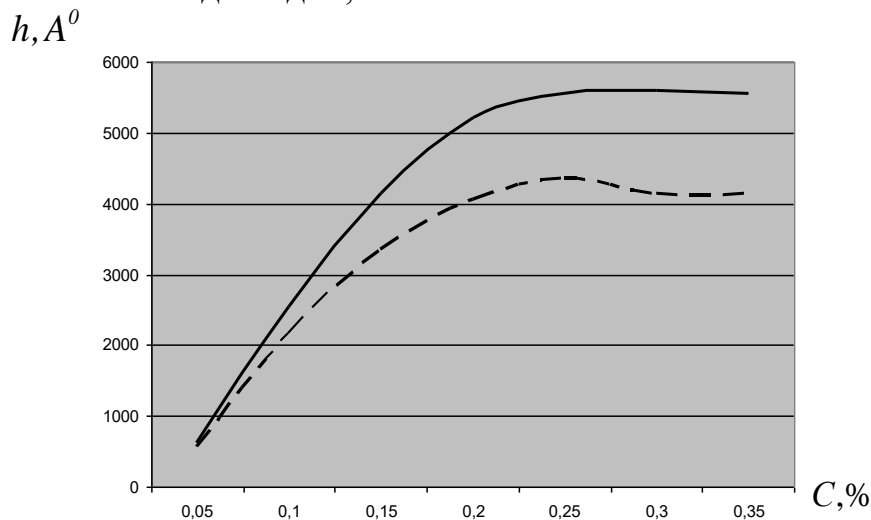


Рис. 5. Залежність товщини змащувального шару від концентрації молекул ПАР стеаринової кислоти в робочій рідині:

«—» з обробкою робочої рідини; «---» без обробки робочої рідини

Як видно з отриманих результатів (рис.5), із зростанням концентрації присадки збільшується товщина змащувального шару. При цьому, при обробці робочої рідини електростатичним полем з урахуванням раціональної концентрації присадки, товщина змащувальної плівки зросла у 1,7 рази.

В результаті електрообробки робочої рідини відбувається зміна фактичної площі контакту (рис. 6). Дане фізичне явище призводить до зменшення адгезійної складової тертя і питомого контактного тиску, що приводить до зниження швидкості зношування і підвищення ресурсу вузлів тертя гідроагрегатів.

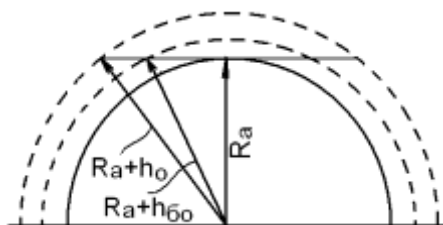


Рис. 6. Зміна фактичної площі контакту в залежності від товщини змащувального шару:

h_0 – товщина змащувального шару на поверхнях тертя при обробці робочої рідини електростатичним полем; h_{60} – товщина змащувального шару на поверхнях тертя без обробки робочої рідини електростатичним полем; R_a – середнє значення відхилення радіусу вершин мікронерівностей, м

З урахуванням площ фактичного контакту, а також мікрогеометрії поверхонь тертя залежність (11) набуває вигляд

$$\frac{T_o}{T_{60}} = \frac{R_a \int_0^{n(c)} \left(b \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{2ee_0 W_M}{py}\right)^2}{1 - \left(1 - \frac{2ee_0 W_M}{py}\right)^2}} \cdot C \right) dn + \left(\int_0^{n(c)} \left(b \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{2ee_0 W_M}{py}\right)^2}{1 - \left(1 - \frac{2ee_0 W_M}{py}\right)^2}} \cdot C \right) dn \right)^2}{R_a \int_0^{n(c)} \left(b \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{2ee_0 KT}{py}\right)^2}{1 - \left(1 - \frac{2ee_0 KT}{py}\right)^2}} \cdot C \right) dn + \left(\int_0^{n(c)} \left(b \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{2ee_0 KT}{py}\right)^2}{1 - \left(1 - \frac{2ee_0 KT}{py}\right)^2}} \cdot C \right) dn \right)^2} \cdot (12)$$

При заданому значенні R_a приріст ресурсу гідроагрегату, згідно теоретичного розрахунку товщини плівки та залежності (12), відображений на рисунку 7.

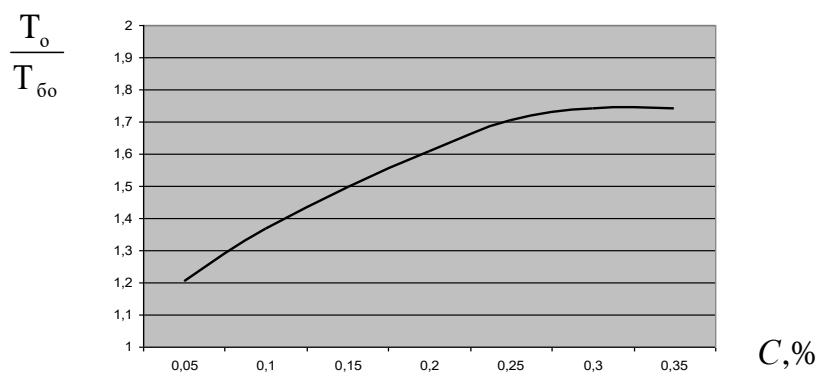


Рис. 7. Змінення приросту ресурсу гідроагрегатів в залежності від концентрації присадки при обробці робочої рідини електростатичним полем

Із залежності (13) виходить, що введення раціональної концентрації присадки та обробка робочої рідини зовнішнім електростатичним полем дозволяє збільшити ресурс поршневих насосів та моторів засобів транспорту в діапазоні 1,2–1,75 рази.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням впливу концентрації присадки в робочій рідині при її електростатичній обробці на товщину

граничної плівки та інтенсивність зносу пар тертя поршневих насосів та моторів колійних машин.

Перший етап був присвячений визначенню товщини адсорбційного шару молекул поверхнево-активних речовин на поверхнях тертя гідроагрегатів засобів транспорту, залежно від концентрації присадки в робочій рідині при її обробці електростатичним полем. Був використаний пристрій для визначення товщини граничних шарів за методом «стопи» із використанням кульок розташованих одна за одною. Товщина шару визначалась як різниця між значеннями змащеної та сухої «стопи».

Програма проведення експериментальних досліджень передбачала проведення експерименту з обробкою робочої рідини електростатичним полем і без неї. Результати проведення експериментів по визначенню товщини змащувального шару приведені на (рис. 8). По результатах досліджень отримані емпіричні залежності зміни товщини змащувальної плівки від концентрації присадки (стеаринової та олеїнової кислоти) таблиця 2.

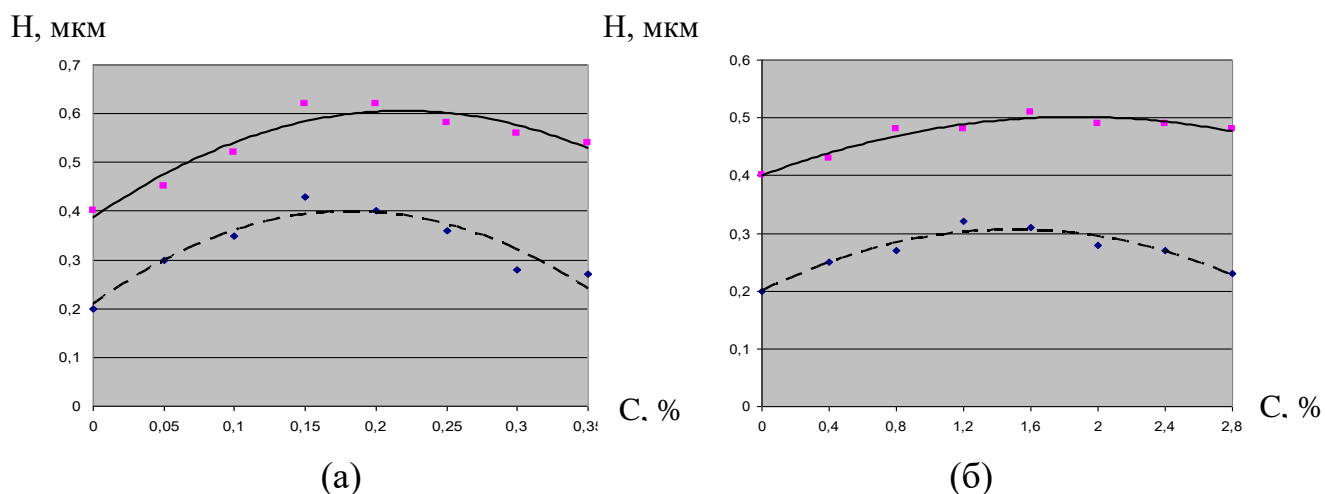


Рис. 8. Зміна товщини змащувального шару залежно від концентрації кислоти в мастилі И-20: а – стеаринова кислота; б – олеїнова кислота; “—” з обробкою; “- -” без обробки

Таблиця 2 - Емпіричні залежності зміни товщини змащувальної плівки

ПАР	Вид обробки РР	Рівняння регресії
Стеаринова кислота	Без обробки	$H = -5,7381C^2 + 2,1012C + 0,2071$
	З обробкою	$H = -4,5476C^2 + 1,9988C + 0,3894$
Олеїнова кислота	Без обробки	$H = -0.0472C^2 + 0.1421C + 0,1996$
	З обробкою	$H = -0.029C^2 + 0.1086C + 0.3992$

Як видно з отриманих результатів (рис.8), із зростанням концентрації присадки товщині змащувальної плівки змінюється нелінійно. При цьому, як для оброблених рідин, так і для необроблених, спостерігається максимум товщини. Використання електростатичного поля призводить до зростання товщини плівки в 1.5-2 рази в усьому дослідному діапазоні.

На другому етапі були проведені експериментальні дослідження з визначення впливу концентрації молекул присадки (стеаринової та олеїнової кислот) на швидкість зношування вузлів гідроагрегатів з урахуванням обробки робочої рідини електростатичним полем.

До основних випробувань протизносних властивостей змащувальних рідин відносяться стандартні випробування на машинах. В роботі досліджувався вплив концентрації ПАР на швидкість зношування пар тертя на чотирьохкульковій машині тертя МАСТ-1. Принципова схема вузла тертя приведена на рисунку 9.

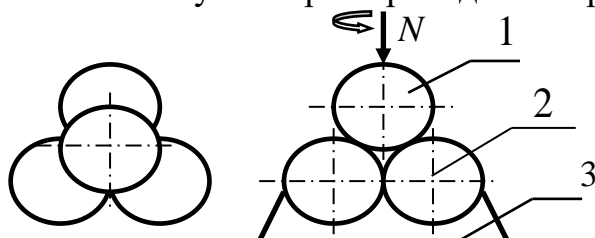


Рис. 9. Схема вузла тертя: 1 – куля, що обертається; 2 – нерухомі кулі; 3 – ванна з мастилом

Лабораторна установка для проведення експериментальних досліджень представлена на рисунку 10.

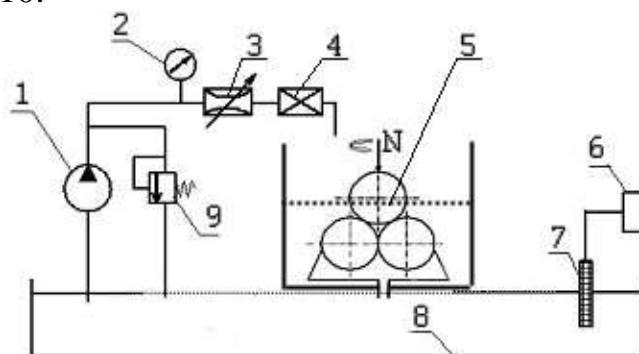


Рис. 10. Гідравлічна схема лабораторної установки: 1 – насос; 2 – манометр; 3 – дросель, що регулюється; 4 – пристрій для обробки робочої рідини електростатичним полем; 5 – вузол тертя; 6 – терморегулятор; 7 – нагрівальний елемент; 8 – бак; 9 – запобіжний клапан.

Таблиця 3 - Результати виміру на лабораторній установці

Концентрація ПАР, %	Швидкість зносу, мг/год (без обробки РР)	Швидкість зносу, мг/год (з обробкою РР)
0	30,5	18,3
0,05	26,1	17,8
0,1	19,8	13,2
0,15	17,5	12,7
0,2	20,1	12,9
0,25	25,3	15,4
0,3	26,2	15,6
0,35	26,2	16,1

Матеріал кульок сталь Ст5 вибирався згідно матеріалу в реальних керуючих елементів гідроагрегатів. Вимір швидкості зносу кульок проводився за допомогою лабораторного мікроскопу, завдяки якому були визначені діаметри плям. Після чого був проведений перерахунок швидкості зносу у мг/год.

Результати зміни швидкості зношування без обробки електростатичним полем і з обробкою приведені на (рис.11).

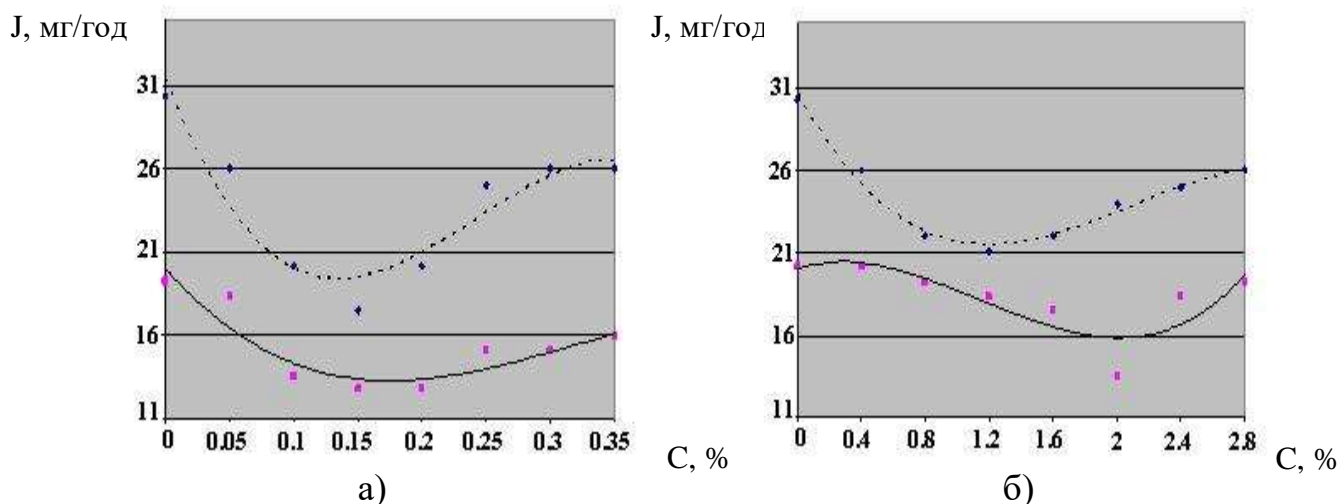


Рис 11. Зміна швидкості зношування залежно від концентрації стеаринової та олеїнової кислот: а – стеаринова кислота; б – олеїнова кислота; “-“ з обробкою; “- -“ без обробки

Після обробки результатів досліджень отримана емпірична залежність зміни швидкості зношування поверхонь тертя з обробкою електростатичним полем робочої рідини при різних концентраціях присадки, таблиця 4.

Таблиця 4. Емпірична залежність зміни швидкості зношування

ПАР	Обробка РР	Рівняння регресії
Стеаринова кислота	Без обробки	$j = -1289.9C^3 + 904.03C^2 - 169.23C + 28.656$
	З обробкою	$j = -364.24C^3 + 347.92C^2 - 88.414C + 20.027$
Олеїнова кислота	Без обробки	$j = -1.6465C^3 + 10.341C^2 - 17.693C + 30.714$
	З обробкою	$j = 1.795C^3 - 6.1667C^2 + 3.0547C + 20.043$

Згідно проведеним експериментальним дослідженням на всіх графіках існує значення концентрації ПАР, при якому спостерігається мінімальний знос пар тертя. Для стеаринової кислоти це значення коливається в межах від 0,12%-0,14% (без обробки) і 0,12%-0,18% (з обробкою). Для олеїнової: 1,2%-1,6% (без обробки) і 1,6%-2% (з обробкою).

Швидкість зношування, при обробці робочої рідини електростатичним полем при однакових значеннях концентрації знижується, що обумовлено руйнуванням міцелярних структур ПАР.

Проведені експериментальні дослідження на машині тертя СМЦ-2 (рис.12). Матеріали випробовуваних зразків (ролика і колодки) були підібрані відповідно з матеріалами, використовуваними в гідромоторі фірми "Бушер", який використовується на колійній машині ВПР-1200. На цій підставі в якості матеріалу колодки була прийнята бронза БрАЖ 9-4, ролика - сталь 38Х2МЮА. Номінальна площа контакту в досліджуваній парі дорівнювала середній площі контакту плунжера і гільзи в моторі. Шорсткість поверхні колодки і ролика також підбиралася на підставі конструкторської документації на зазначений мотор, тим самим, забезпечувалася необхідна фактична площа контакту.

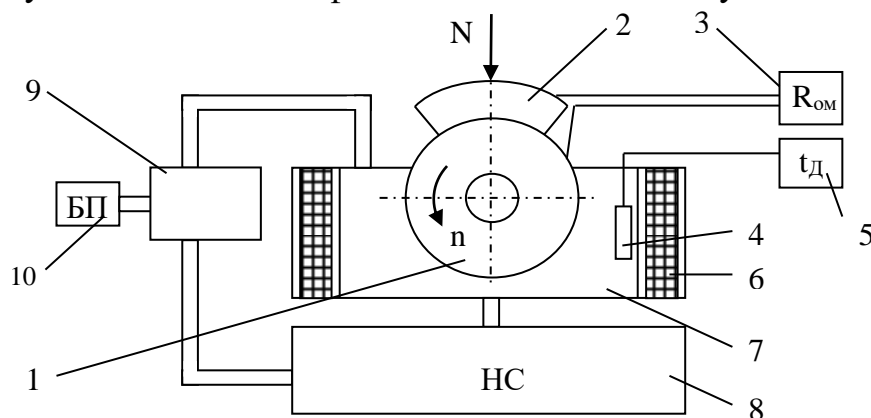


Рис.12 - Схема лабораторної установки для проведення випробувань пари тертя «колодка-ролик» на машині тертя СМЦ-2:

1 – ролик; 2 – колодка; 3 – омметр; 4 – термодатчик; 5 – терморегулятор; 6 – елемент що нагріває; 7 – ємність; 8 – насосна станція; 9 – пристрій для обробки РР; 10 – блок живлення

Результати зміни швидкості зносу колодки без обробки робочої рідини електростатичним полем та з обробкою наведені на (рис.13).

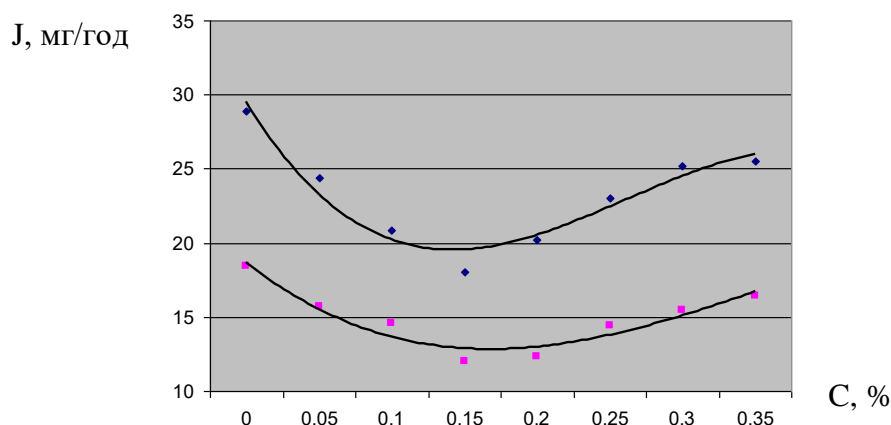


Рис.13 - Зміна швидкості зношування залежно від концентрації стеаринової кислоти: “—” з обробкою; “- -” без обробки

Згідно проведених досліджень, характер зміни швидкості зносу колодки на машині тертя СМЦ-2 та кульок на машині тертя МАСТ-1 схожий, та є значення концентрації присадки при якій швидкість зносу найменша.

З урахуванням експериментальних даних, ресурс гідроагрегатів засобів транспорту можливо визначити за допомогою рівняння:

$$T = \frac{I_{\text{доп}}}{j}, \quad (13)$$

де $I_{\text{доп}}$ – допустимий знос, мг; j – швидкість зносу, мг/год.

Залежності, наведені в таблиці 2, та залежність (14) дозволили встановити експериментальним шляхом закономірність зміни приросту ресурсу від концентрації присадки в робочій рідині (рис.14). Крім того, проведено порівняння закономірностей зміни приросту ресурсу отриманих теоретично (рис.7) та експериментально.

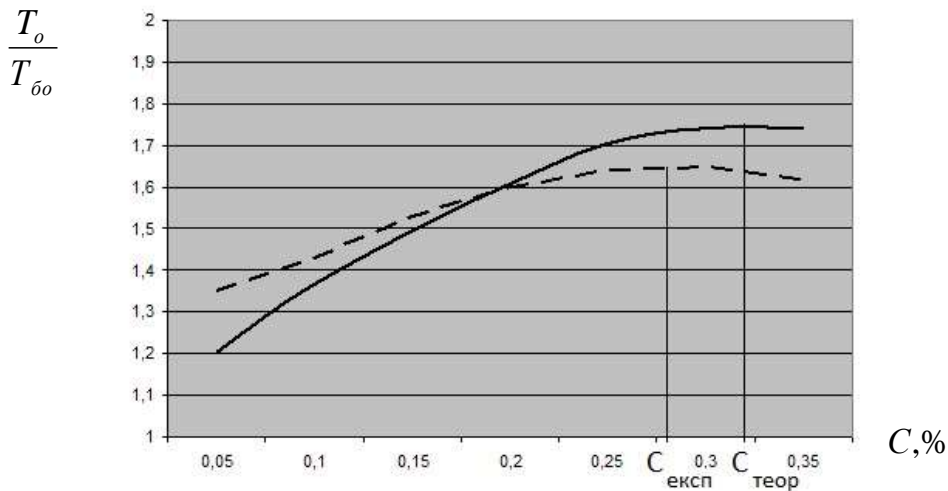


Рис. 14. Змінення приросту ресурсу гідроагрегатів засобів транспорту в залежності від концентрації присадки при обробці робочої рідини електростатичним полем: «---» - експериментальна крива змінення приросту ресурсу; «—» - теоретична крива змінення приросту ресурсу

Згідно порівняльних даних на (рис.14), максимальний приріст ресурсу при використанні електростатичної обробки робочої рідини має місце при концентрації присадки на рівні 0,28-0,32% і складає 1.65 рази. Причому розходження між теоретичними та експериментальними значеннями раціональної концентрації присадки дорівнює 6.7%. Згідно отриманих даних, ресурс поршневих моторів та насосів колійних машин ВПР та ВПРС збільшився з 3000 годин до 4950 годин.

Четвертий розділ присвячений удосконаленню гідросистеми колійної машини ВПР-1200 за рахунок встановлення пристрою для електростатичної обробки робочої рідини [6].

Для забезпечення максимальної ефективності обробки робочої рідини електростатичним полем була розроблена методика вибору параметрів, до яких відносяться: вибір кількості електродів, які забезпечують раціональний режим обробки, а так само потужність пристрою.

Напруга на електродах повинна забезпечувати повною мірою поляризацію робочої рідини. На підставі теоретичних досліджень проведених раніше, визначені основні фізичні процеси, які протікають при обробці робочої рідини

електростатичним полем. Зв'язок між напругою і іншими параметрами пристрою можливо встановити за допомогою залежності:

$$U = \frac{E_{\text{нас}} \varepsilon (r+x) \ln \frac{(r+x) r_{\text{в}}}{r}}{3\varepsilon_0 E_0 R}, \quad (14)$$

де $E_{\text{нас}}$ – напруга електростатичного поля, при якому досягається максимальна поляризація робочої рідини; ε – діелектрична проникність рідкого змащувального середовища; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м² – абсолютна діелектрична проникність вакууму; x – величина зазору між електродами, м; $r_{\text{в}}$ – радіус мікронерівностей на продуктах зносу, м; R – радіус частинки зносу поверхні тертя, м; r – радіус внутрішнього електрода, м.

Швидкість руху робочої рідини між електродами визначається з умов руйнування міцелярних структур поверхнево-активних речовин, тобто зовнішнє електростатичне поле повинно встигати руйнувати міцелярні структури ПАР. Експериментальні дослідження проведені доктором технічних наук, професором Є.М. Лисіковим показують, що найбільший ефект інтенсифікації змащувального шару на поверхнях тертя досягається, коли швидкість забезпечує ламінарний характер руху робочої рідини між електродами. Оптимальна швидкість руху робочої рідини дорівнює 6 м/с.

Економічний ефект від установки пристрою електростатичної обробки робочої рідини на колійну машину ВПР-1200 склав 32578 грн на 1 машину за 8 років.

ВИСНОВКИ

1. Серед чисельної кількості засобів залізничного транспорту найбільша доля відмов, від 30% до 70%, елементів гідروприводу має місце в колійних машинах ВПР та ВПРС. В цих машинах найбільш відповідальними та коштовними є поршневі гідравлічні агрегати такі як насоси, мотори та гідроциліндри.

2. Ресурс гідроагрегатів залежить від багатьох факторів, серед яких одним з головних є якість робочої рідини, а саме її протизносні властивості. Згідно раніше проведених досліджень, такі властивості визначаються процесом формування змащувального шару та досягаються введенням в робочі рідини поверхнево-активних речовин – присадок, а також обробкою зовнішніми силовими полями. Однак, для забезпечення цих засобів потрібно встановити раціональну концентрацію присадки в умовах обробки робочої рідини електростатичним полем. При цьому інтенсифікується процес формування змащувального шару та досягається максимальне збільшення ресурсу гідроагрегатів.

3. Встановлена закономірність впливу концентрації протизносної присадки в робочих рідинах на ресурс гідроагрегатів засобів залізничного транспорту, в якій головними факторами є товщина змащувального шару та швидкість зношування деталей. Згідно встановленої закономірності, із зростанням концентрації присадки змінюється фактична площа контакту поверхонь тертя за рахунок зростання товщини граничного змащувального шару, та при деяких значеннях концентрації,

спостерігається максимум ресурсу. Така закономірність отримана як для умов електростатичної обробки, так і без неї.

4. Теоретичними дослідженнями встановлений вплив концентрації присадки в робочій рідині на товщину граничного змащувального шару. Отримана гіпотетична модель для визначення товщини граничного шару з урахуванням процесу агрегації присадки та її концентрації в об'ємі робочої рідини. Встановлено, що поява агрегатів присадки в рідині по мірі зростання концентрації негативно впливає на процес формування змащувального шару, перевод присадки з агрегатного стану в мономірний за рахунок електростатичної обробки робочої рідини дозволяє інтенсифікувати процес формування змащувального шару, при цьому його товщина збільшується до 1.8 рази.

5. Розроблена методика експериментальних досліджень згідно якої на першому етапі проводились лабораторні дослідження впливу концентрації присадок, температури та електростатичної обробки на товщину змащувального шару, а на заключному етапі, проводились випробування вузлів тертя гідроагрегатів засобів залізничного транспорту на машинах тертя при змінній концентрації присадки та температури робочої рідини і умовах її електростатичної обробки.

6. Лабораторними дослідженнями товщини граничного змащувального шару встановлено, що із зростанням концентрації присадки, не залежно від її типу, відтворюється закономірність, згідно якої, при малих концентраціях товщина шару зростає як для необробленої робочої рідини електростатичним полем, так і для обробленої. При досягненні значень концентрації більших за ККМ, спостерігаються різні закономірності – для необробленої рідини товщина шару зменшується на 24-27%, а для обробленої рідини спостерігається насичення граничного шару. Із збільшенням температури робочої рідини товщина граничного шару зменшується, як необробленої так і обробленої рідини.

7. У випробуваннях на машинах тертя досліджувались вузли тертя поршневих насосів та моторів, рухомих з'єднань керуючої апаратури, поршнів та гідроциліндрів колійних машин ВПР та ВПРС і тепловозів ТЭП-70. В результаті випробувань визначена раціональна концентрація присадки в робочій рідині при якій досягається зменшення швидкості зношування випробуваних вузлів у 1.37-1.67 разів з використанням електростатичної обробки робочої рідини.

8. По результатах теоретичних та експериментальних досліджень розраховані значення приросту ресурсу гідроагрегатів засобів залізничного транспорту від електростатичної обробки робочої рідини в залежності від концентрації присадки. Ці дані показують, що згідно теоретичних досліджень ресурс збільшується в 1.76 рази, а згідно експериментальних досліджень ресурс збільшується в 1.65 рази при раціональній концентрації присадки. Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями приросту ресурсу складає для раціональної концентрації присадки 6.7%, а в усьому досліджуваному діапазоні змінюється від 1% до 12.5%

9. На основі результатів досліджень розроблений спосіб підвищення довговічності поршневих гідравлічних насосів та моторів, керуючої гідравлічної апаратури засобів залізничного транспорту, який полягає у комбінації підтримки раціональної концентрації присадки та електростатичної обробки робочої рідини.

Згідно проведених досліджень, використання такого способу підвищує ресурс гідроагрегатів до 1.8 разів, наприклад, для машини ВПР ресурс поршневого мотору збільшиться з 3000 годин до 5400 годин, для тепловозу ТЭП-70 ресурс поршневого насосу привода вентилятора збільшиться з 4000 годин до 7200 годин, та відповідний ефект буде спостерігатися для гідроагрегатів маневрових тепловозів. Економічний ефект від впровадження результатів роботи розраховувався для колійної машини ВПР-1200 та склав 32578 грн. на 1 машину за 8 років при її технічній експлуатації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Лисіков Є.М. Баланс ПАР в робочих рідинах гідроприводів будівельних та колійних машин / Є.М. Лисіков, С.В. Воронін, В.О. Стефанов // Підвищення ефективності перевантажувальних, будівельних і колійних робіт на транспорті: Зб.наук. праць. – Харків.: УкрДАЗТ, 2006.- Вип. 73. - С. 84-89.

2. Лисіков Є.М. Визначення товщини адсорбційного шару молекул поверхнево-активних речовин на поверхнях тертя гідроприводів будівельних та колійних машин / Є.М. Лисіков, В.О. Стефанов // Удосконалення будівельних, колійних та перевантажувальних машин. - Харків: УкрДАЗТ. - 2008. - №88. - С.254-260.

3. Лисіков Є.М. Формування граничного змащувального шару на поверхнях тертя гідроприводів колійних та будівельних машин залежно від концентрації присадки./ Є.М. Лисіков, В.О. Стефанов, А.М. Малявін // Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, -2008. – Вип.91 - С.109-114.

4. Астахов В.М. Підвищення ресурсу гідроагрегатів засобів транспорту шляхом оброблення робочої рідини електростатичним полем / В.М. Астахов, В.О. Стефанов //Зб. наук. праць. -Харків: Академія внутрішніх військ МВС України, - 2012. - Вип.19 - С. 73-75.

5. Астахов В.М. Влияние электростатической обработки рабочей жидкости на ресурсосбережение гидроагрегатов средств транспорта / В.М. Астахов, В.О. Стефанов // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит.- Харьков, -2012. - Вып. 98 - С. 63-70.

6. Патент 72366 Україна МПК С10G 71/00 (2006.01). Пристрій для обробки рідких мастильних матеріалів на вуглеводневій основі / Лисіков. Є.М., Воронін С.В., Онопрейчук Д.В., Ткач В.В., Овчінніков О.О., Стефанов В.О. - № u201203748; Заявл. 28.03.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл.№15.

Праці апробаційного характеру:

7. Вплив електростатичної обробки робочої рідини на швидкість зношування пар тертя гідроагрегатів засобів транспорту / В.М. Астахов, В.О. Стефанов // Тези доповідей, 72-ї Міжнародної науково-практичної конференції [«Проблеми і перспективи залізничного транспорту»].-Днепропетровск, 2012.- С.344.

8. Повышение ресурса гидроагрегатов средств транспорта путем обработки рабочей жидкости электростатическим полем / В.Н. Астахов, В.А. Стефанов//

Тезисы докладов, 8-й международной научно-практической конференции [«Дни науки» секция «Технические науки, транспорт»].- Прага, 2012.-С. 54-55.

АНОТАЦІЯ

Стефанов В.О. Підвищення довговічності гідроагрегатів засобів залізничного транспорту шляхом інтенсифікації формування змащувального шару. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту. - Українська державна академія залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2013.

Метою даної роботи є підвищення ресурсу гідроагрегатів засобів залізничного транспорту шляхом встановлення раціональної концентрації присадки в умовах електростатичної обробки робочої рідини.

В дисертації запропоновано використання раціональної концентрації присадки в робочій рідині при обробці її зовнішнім електростатичним полем. Це дозволяє підвищити ресурс гідроагрегатів засобів залізничного транспорту до 2х разів.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено спосіб підвищення ресурсу гідроагрегатів колійної машини ВПР-1200, який полягає в підтримці в часі раціональної концентрації присадки і електростатичної обробки робочої рідини. Використання такого способу збільшує ресурс гідроагрегатів до 1,8 разів.

Ключові слова: гідроагрегати засобів залізничного транспорту, робоча рідина, концентрація присадки, електростатичне поле, граничний змащувальний шар, гідравлічний насос і мотор, ресурс.

АННОТАЦИЯ

Стефанов В.А. Повышение долговечности гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта путем интенсификации формирования смазочного слоя. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, МОН Украины, Харьков, 2013.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи – повышению ресурса гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта путем поддержания рациональной концентрации присадки.

На средствах железнодорожного транспорта железных дорог Украины широкое распространение получили гидравлические приводы и гидропередачи, которые используются для приводов колесных пар подвижного состава, вентиляторов охлаждающих систем, рабочих органов путевых машин. Установлено, что наибольшая доля отказов гидроагрегатов имеет место в путевых машинах, например ВПР и ВПРС. Наиболее ответственными и ценными являются поршневые насосы, моторы и цилиндры, а также золотниковые элементы. Их ресурс зависит от многих факторов среди которых, одним из главных является качество рабочей жидкости, а именно ее противоизносные свойства. Такие свойства обеспечиваются введением в рабочие жидкости поверхностно-активных веществ - присадок, однако для обеспечения максимальной эффективности их действия нужно определить их

рациональную концентрацию и ввести обработку рабочей жидкости электростатическим полем. При этом достигается максимальное увеличение ресурса гидроагрегатов при равных других условиях.

Теоретическими исследованиями установлено влияние концентрации присадки в рабочей жидкости на толщину предельного смазочного слоя. Разработаны модели для определения толщины пограничного слоя с учетом природы присадки и ее состояния в объеме рабочей жидкости. Так же установлены эмпирические закономерности влияния концентрации присадки в рабочей жидкости на скорость износа поршневых гидравлических агрегатов путевых машин при использовании электростатической обработки рабочей жидкости.

Испытаниями на машинах трения установлены рациональные концентрации присадки в рабочей жидкости, при которых наблюдается минимум скорости износа узлов трения гидроагрегатов, как без электростатической обработки рабочей жидкости, так и с обработкой.

На основе результатов исследований разработан способ повышения ресурса гидроагрегатов путевой машины ВПП-1200, который заключается в поддержании во времени рациональной концентрации присадки и электростатической обработки рабочей жидкости. Использование такого способа увеличивает ресурс гидроагрегатов до 1,8 раза. Материалы диссертационной работы внедрены на Лозовской дистанции пути Южной железной дороги.

Ключевые слова: гидроагрегаты средств железнодорожного транспорта, рабочая жидкость, концентрация присадки, электростатическое поле, граничный смазочный слой, гидравлический насос и мотор, ресурс.

SUMMARY

Stefanov V. Increasing longevity means of hydraulic rail by intensifying the formation of a lubricating layer. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.20 - Maintenance and repair of vehicles. - Ukrainian State Academy of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkov, 2013.

The aim of this work is to improve resource hydroelectric facilities of railway transport by establishing a rational concentration of additives in electrostatic finishing the working fluid.

In the thesis the rational use of additive concentration in the working fluid in the processing of an external electrostatic field. This helps improve resource hydroelectric facilities of railway transport up to 2 times.

Based on the results of theoretical and experimental research developed a method of increasing resource hydraulic track machine "ВПП-1200", which is to maintain time efficient additive concentration and electrostatic processing of the working fluid. Using this method increases the share of hydro up to 1,8 times.

Keywords: hydraulic facilities of railway transport, the working fluid, the concentration of additive electrostatic field, boundary layer lubrication, hydraulic pump and motor life.

СТЕФАНОВ ВОЛОДИМИР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 625.144.6:62-82.004.62

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ГІДРОАГРЕГАТИВ ЗАСОБІВ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ
ФОРМУВАННЯ ЗМАЩУВАЛЬНОГО ШАРУ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. Афанасов Г.М.

Підписано до друку ____ . ____ . ____ р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір офсетний.

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

Замовлення № ____. Тираж 100 примірників.

Видавництво УкрДАЗТ, свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007р.

Друкарня УкрДАЗТ

61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.