

2889

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

На правах рукопису

Євтушенко Андрій Вікторович

УДК 621.651

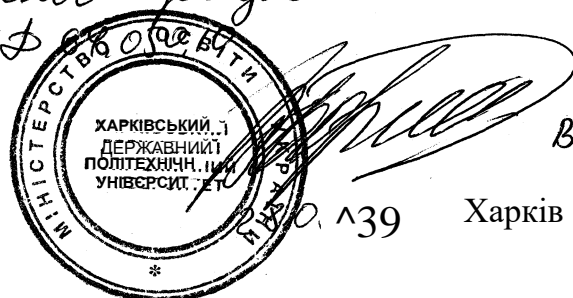
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ
СТАБІЛІЗАЦІЄЮ ПРОТИЗНОШУВАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ
ЗМАЩУВАЛЬНИХ МАСТИЛ

05.02.02 - машинознавство

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

11

*дисертації засвідчує
Вчений секретар
спеціальної комісії
вченої ради*



Науковий керівник
Венцель Євген Сергійович,
доктор технічних наук,
професор

В.В. Борто

2000, №39 Харків - 1999 *

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1. Умови змащування підшипників ковзання при нестационарних режимах роботи	10
1.2. Шляхи забезпечення стабілізації протизношувальних властивостей змащувальних мастил	37
1.3. Висновки. Мета і задачі досліджень.....	57
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ	59
2.1. Теоретичні основи подачі присадки до змащувального мастила	59
2.2. Математична модель інтенсивності зношування поверхонь тертя підшипників ковзання.....	61
2.3. Висновки	68
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	70
3.1. Зносостійкість підшипників ковзання при забезпеченні стабілізації протизношувальних властивостей змащувальних мастил.....	70
3.2. Дослідження стану приповерхневих шарів тертя	81
3.3. Висновки.....	85
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ (НА ПРИКЛАДІ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ ВЕРСТАТІВ)	87
4.1. Закономірності спрацьовування присадки ДФ-11 в робочих рідинах.....	93

4.2.Зносостійкість елементів гідропривода і строки служби робочої рідини	101
4.3.Висновки.....	129
РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ (НА ПРИКЛАДІ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ ВЕРСТАТІВ)	
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ	133
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	136
ДОДАТКИ.....	147

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПК - підшипник ковзання

ЗМ - змащувальне мастило

ДВЗ - двигун внутрішнього згоряння

ПАР - поверхнево-активні речовини

ОКР - область когерентного розсіювання

РР - робоча рідина

М_{по} - механічні домішки органічного походження

Мп, - механічні домішки неорганічного походження

Сдр - концентрація присадки

К.ч. - кислотне число

Fe - домішки заліза

ККД - коефіцієнт корисної дії

ВСТУП

Актуальність теми.

ПК є невід'ємною частиною конструкції найрізноманітніших машин: ДВЗ, гідроприводів, технологічного обладнання, трансмісій тощо. Це зумовлено простотою його конструкції, високою несучою здатністю, невеликими габаритами, відносною безшумністю роботи і т. ін.. Але, у практиці машинобудування часто зустрічаються випадки, коли саме ПК обмежують працездатність, довговічність, а отже і надійність машини у цілому. Це пояснюється умовами роботи ПК, особливо у нестационарному режимі, який виникає при змінюванні у широкому діапазоні навантажень та температур.

Для зниження тертя і зносу між валом та вкладишем подається ЗМ, яке під час руху, що установився, забезпечує гідродинамічний режим змащування, тобто коли поверхні повністю відокремлені одна від одної шаром ЗМ.

При нестационарному режимі роботи змащувальні властивості ЗМ проявляються у забезпеченні граничного тертя, при якому поверхні вала та вкладиша розділені більш тонким, ніж при гідродинамічному режимі, граничним шаром, який виникає внаслідок адсорбції ПАР, що містяться у ЗМ, на поверхнях тертя.

В обох випадках зносостійкість ПК забезпечується властивостями ЗМ, що використовуються, особливо протизносними. У сучасних ЗМ останні забезпечуються введенням до них відповідних присадок, які досить успішно захищають поверхні тертя від зношування. Але під час роботи машини з ЗМ відбувається ряд безповоротних процесів, які погіршують їх експлуатаційні показники. Одним з таких процесів є спрацьовування присадок, в тому числі протизносної. Спрацьовування присадок приводить до підвищення зносу вузлів тертя, зокрема вкладиша і вала ПК, що обмежує

строки служби ЗМ і потребує їх частої заміни з метою підтримування протизносних властивостей на такому рівні, який забезпечує мінімальну зношуваність. Як показує досвід експлуатації, у більшості випадків ЗМ замінюється із-за спрацьовування присадок, при цьому базова частина ЗМ залишається повністю працездатною. Часта заміна потребує підвищених витрат ЗМ, яке є дефіцитним та дорогим нафтопродуктом на Україні. Останнє зумовлено поступовим вичерпуванням запасів власної сирової нафти, збільшенням собівартості її добування і транспортування, а також необхідністю експортування нафти з інших держав. Відмова від своєчасної заміни ЗМ по причині спрацьовування присадок, різко збільшує інтенсивність зношування, а отже, можливість швидкого виходу з ладу елементів машин. Це приводить до значних матеріальних витрат, що пов'язані з простоями обладнання і машин, забезпеченням запасними частинами, ремонтом, тощо. Тому поліпшення та підтримування експлуатаційних властивостей ЗМ, зокрема, протизношувальних, на такому рівні, який гарантує постійну і мінімально можливу інтенсивність зношування вузлів тертя, дозволить підвищити зносостійкість, а отже, ефективність застосування машин при одночасному збільшенні строків служби ЗМ до заміни.

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

Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» Харківської державної академії залізничного транспорту по пріоритетному напрямку науки і техніки «Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології» (програма «Підвищення надійності та довговічності машин і конструкцій» наведена у постанові Верховної Ради України №2705 від 16.10.92 з послідуєчими доповненнями), а також виконувалась в рамках науково-дослідних робіт кафедри за державними бюджетними темам 8/4-93Б та 8/4-96Б.

Мета і задачі дослідження.

Підвищення ефективності роботи машин за рахунок зниження зносу їх ПК шляхом дозованого уведення до ЗМ протизношувальної присадки замість спрацьованої.

Для досягнення вказаної мети проведено відповідні теоретичні та експериментальні дослідження у лабораторних та експериментальних умовах, внаслідок чого вдалося встановити ефективність застосування дозованого уведення протизношувальної присадки до ЗМ для поліпшення їх протизношувальних властивостей, а отже, підвищення зносостійкості вузлів тертя, в тому числі ПК.

Наукова новизна одержаних результатів.

Запропоновано і теоретично обгрунтовано новий метод дозованого уведення присадок до ЗМ у процесі експлуатації машин.

Отримано і експериментально підтверджено математичну модель інтенсивності зношування поверхонь тертя ПК при нестационарному режимі роботи, яка дозволила розширити існуючі погляди на механізм дії протизношувальних присадок.

Експериментально встановлено величину мінімально припустимої концентрації протизношувальної присадки-до ЗМ, подальше зменшення якої приводить до погіршення їх протизношувальних властивостей.

Установлено закономірність спрацьовування протизношувальної присадки до ЗМ під час їх експлуатації.

Отримано кількісні характеристики підвищення зносостійкості ПК і інших вузлів тертя та збільшення строків служби ЗМ при дозованому уведенні протизношувальної присадки.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропонований метод дозованого уведення присадки дозволяє підвищити зносостійкість ПК та інших вузлів тертя і строки служби ЗМ, що

сприяє більш ефективному використанню машин при одночасній економії дефіцитних ЗМ на нафтовій основі.

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

Особистий внесок здобувача.

Запропоновано і теоретично обґрунтовано новий метод дозованого уведення присадок до ЗМ, а також розроблено конструкцію спеціального контейнера, який дозволяє реалізувати цей метод.

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

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

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

Апробація результатів дисертації.

Результати роботи доповідалися на 55 - 60 науково-технічних конференціях Харківської державної академії залізничного транспорту (1993-1998); міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій 50-річчю кафедри «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини»

Харківської державної академії залізничного транспорту (1997 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Зносостійкість машин» (Брянськ, 1993). Повністю дисертаційна робота доповідалась на науковому семінарі кафедри «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» Харківської державної академії залізничного транспорту.

Публікації.

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

Структура і обсяг роботи.

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

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

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

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Умови змащування підшипників ковзання при нестационарних режимах роботи

Надійність, економічність, а у більшості випадків вага і габарити машини суттєво залежать від конструкції, якості виготовлення та монтажу підшипникових вузлів. Тому до підшипникових вузлів пред'являються нові підвищені вимоги, які обумовлені у першу чергу зростанням швидкостей деталей, що обертаються, збільшенням статичних та ударних навантажень, діючих на опори, і необхідністю значного збільшення надійності опорних вузлів.

ПК прості за конструкцією, мають невеликі розміри, можуть працювати при великих швидкостях, довговічні, мало чутливі до ударів та тимчасових перевантажень. Але вони утворюють порівняно великі моменти тертя під час пуску, підвищений знос та пов'язане з цим зниження довговічності роботи механізму [83].

У цілому ряду машин нестационарні режими роботи є звичними для опор тертя. Це стосується, наприклад, опорних підшипників прокатних станів, шатунних і корінних підшипників ДВЗ, поршневих компресорів, поршнів холодильних компресорів, тощо. Підшипники електродвигунів - приводів прокатних станів працюють при перемінних за величиною та напрямком окружних швидкостях, шатунні підшипники ДВЗ - при змінних силах і швидкостях вала та вкладиша, а поршні холодильних компресорів - при перемінних за величиною та напрямком силах, моментах та швидкостях переміщення [91].

Оптимальні умови роботи опор ковзання забезпечуються під час рідинного тертя, коли мастильний* шар повністю відокремлює поверхні

цапфи та підшипника одну від одної (на рис.1.1 [100]. цьому процесу відповідає ділянка 2-3). Працездатність підшипника обумовлена в'язкістю ЗМ та його кількістю, що проходить крізь зазор в одиницю часу. Коефіцієнт тертя при цьому дуже малий, втрати на тертя не вище ніж у опорах коливання, знос робочих поверхонь також незначний. Але такий режим роботи може бути реалізований лише при певних співвідношеннях ряду параметрів: - швидкості ковзання, в'язкості ЗМ, розмірів підшипників, тощо [100]. Необхідний зазор між цапфою і підшипником забезпечується дією гідродинамічних сил, які виникають при нагнітанні ЗМ поверхнею вала, що обертається, до клиновидного зазору, який утворюється. Крім переміщення у круговому напрямку і прокачування ЗМ крізь найбільш звужену ділянку, відбувається його торцеве витікання, внаслідок якого епюра тиску ЗМ у поздовжньому перетині має вид параболи (рис.1.2 [83]). Величина гідродинамічного тиску, що утворюється в мастильному шарі, у декілька разів перевищує зовнішні сили, які діють на цапфу. Сума вертикальних складових цього тиску зрівноважує зовнішнє навантаження. Бокові складові зміщують шийку вала у поздовжньому напрямку. В процесі обертання центр шийки описує складну траєкторію. Характер цієї траєкторії визначає можливість небезпечних зближень поверхонь вала і підшипника. Гідродинамічний режим може авторегулюватися: зі збільшенням швидкості обертання вала збільшуються сила тертя і тепловиділення, в'язкість знижується, внаслідок чого режим тертя стабілізується.

Гідродинамічна теорія змащування, основоположником якої є професор Н.П. Петров, отримала подальший розвиток у працях О. Рейнольдса, М.Є. Жуковського, С.О. Чаплигіна, А. Зоммерфельда та інших. Закономірності гідродинамічної теорії змащування використані при розробці теоретичних основ і методик розрахунків опор ковзання для рідинного режиму тертя. Ці питання докладно розглянуто у роботах О.К. Дьячкова, М.В. Коровчинського, С.О. Чернавського, Н. 'йипей та інших.

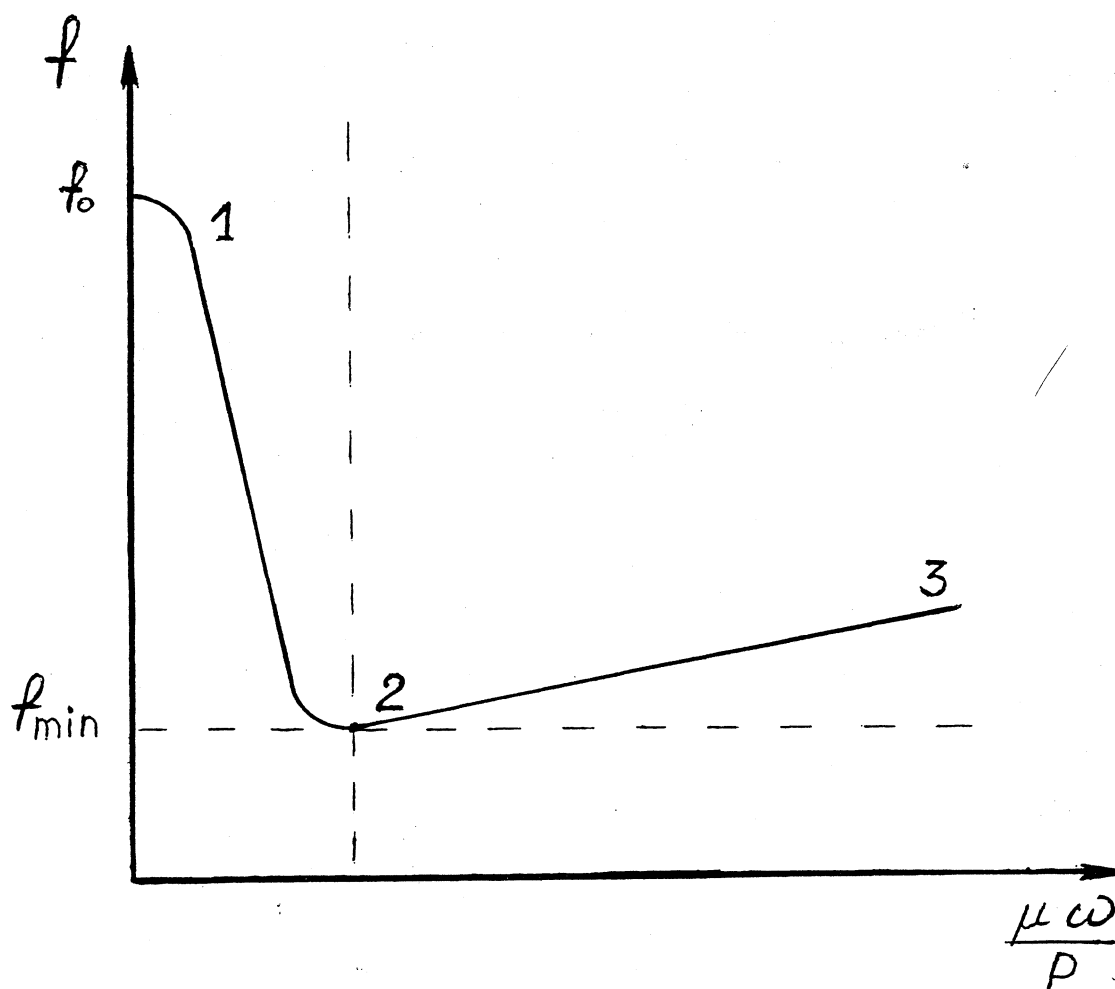


Рис.1.1 Змінювання коефіцієнта тертя ковзання у залежності від параметра $\mu\omega/p$; фази тертя [100] (μ - динамічна в'язкість; ω - кутова швидкість; p - навантаженість; f - коефіцієнт тертя)

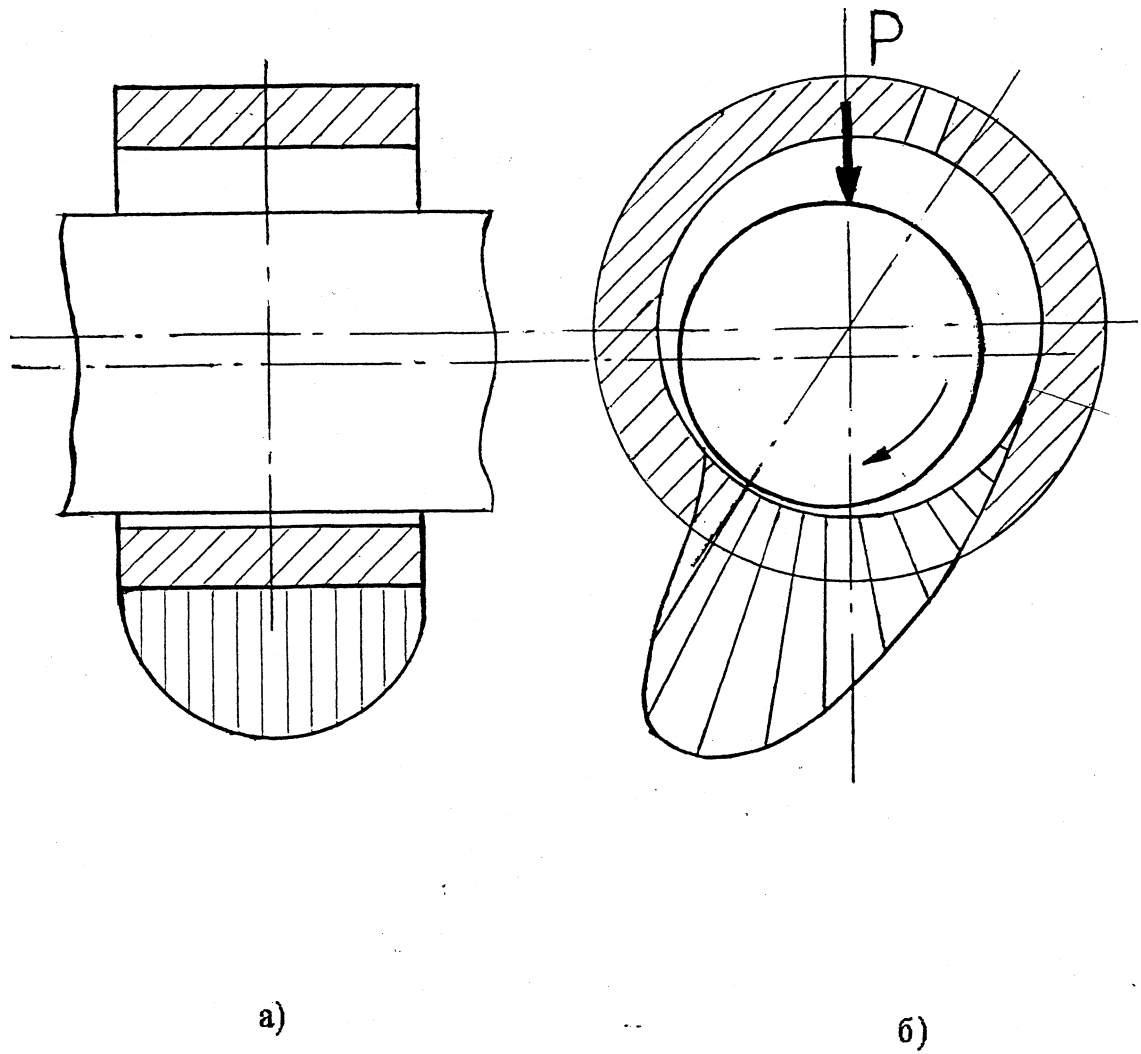


Рис.1.2 Епюри розподілу тиску ЗМ у підшипниках при гідродинамічному режимі змащування [83]:

а - у поздовжньому перетині; б-у поперечному перетині

Для більшості опор, які працюють з великим питомим навантаженням і невеликою швидкістю ковзання, режим рідинного тертя нездійснимий, характер змінювання коефіцієнта тертя, що показаний на ділянці 2-1 (рис.1.1), відноситься до напіврідинного тертя. Зі збільшенням питомого навантаження та зменшенням швидкості ковзання, а також в опорах з реверсивним або неповним (коливальним) обертанням цапфи, напіврідинне тертя може перейти у граничне (ділянка 1- f_0) з набагато більшим коефіцієнтом тертя. Таким чином, існують три режими роботи. Але між рідинним і напіврідинним тертям важко провести чітку межу, бо у розрахунковій методиці для цих двох випадків є подібні критерії. Що стосується граничного тертя, то такий режим не може бути віднесений тільки до однієї будь-якої групи опор, тому що усі підшипники, незалежно від основного експлуатаційного режиму, обов'язково проходять через граничне тертя під час пуску та зупинки машин. Тривалість таких періодів може коливатися у значних межах. Наприклад, для електродвигуна час розгону від нуля до номінальної швидкості обертання вимірюється секундами, а для парової турбіни великої потужності необхідно перед пуском обертати ротор з невеликою кутовою швидкістю (біля 16-20 хв⁻¹) протягом декількох годин. Працездатність і довговічність опори під час граничного тертя визначається вже не тільки в'язкістю ЗМ, а й антифрикційними і механічними властивостями матеріалів, що труться, та міцністю тонкої адсорбованої плівки, яка утворюється на поверхнях тертя [100].

Вперше вивченням граничного тертя почав займатися В.Б. Гарді. На підставі досліджень він встановив, що поверхні металів володіють здатністю адсорбувати за рахунок сил Ван-дер-Ваальса полярні молекули ЗМ. При цьому на поверхнях тертя утворюються граничні шари, що мають велику міцність та легкість ковзання і знижують тертя [70].

Ф.П. Боуденом була створена хімічна теорія, згідно з якою при граничному терті, крім фізичної адсорбції, що утворює фізичний зв'язок ЗМ з металом, утворюються граничні плівки в результаті хімічної взаємодії з металами жирних кислот, які містяться у ЗМ. За здатністю вступати до реакції з ЗМ метали поділяються на активні (наприклад, Sn, Cu, Zn) і неактивні (Ag, Au, Pt та інші). Перші при взаємодії з жирними кислотами утворюють хімічні сполуки типу металевих мил. Граничні плівки, які утворені неактивними металами з жирними кислотами, мають фізичний зв'язок з металами. Захисна дія їх проявляється до температури плавлення жирної кислоти, а дія граничних плівок, що утворені в результаті хімічних реакцій металів з ЗМ, - до значно більш високих температур. Різниця між плівками, що мають фізичний і хімічний зв'язок з металами, полягає у тому, що перші відновлюються в процесі руйнування або зносу, тому пошкоджень поверхонь не спостерігається. Стирання або руйнування хімічних плівок приводить до зносу поверхонь [70].

Під час граничного змащування поверхні тертя розділені шаром ЗМ дуже малої товщини (менш ніж 0,1 мкм). Наявність граничного шару або граничної плівки знижує сили тертя у порівнянні з тертям без ЗМ у 2... 10 разів і зменшує знос поверхонь тертя у сотні разів [31].

Усі ЗМ адсорбуються на металевій поверхні. Міцність плівки залежить від наявності в ній активних молекул, їх кількості та якості. Хоча мінеральні ЗМ є механічною сумішшю неактивних вуглеводнів, вони за виключенням дуже чистих ЗМ, які ще не працювали, завжди мають включення органічних кислот, смол та інших ПАР. Жирні кислоти входять до складу ЗМ рослинно-тваринного походження, а також до складу пластичних ЗМ. Тому майже всі ЗМ утворюють на металевих поверхнях граничну фазу квазікристалової структури товщиною до 0,1 мкм, яка володіє більш-менш міцним зв'язком з поверхньою та поздовжньою когезією. При наявності відносно товстого^ масляного прошарку між

поверхнями тертя перехід від орієнтованої структури ЗМ до неорієнтованої здійснюється стрибком [31].

Молекули ЗМ орієнтуються перпендикулярно до твердої поверхні, що дозволяє уявити граничну плівку у вигляді ворсу (рис.1.3 [31]). Під час взаємного переміщення поверхонь тертя “ворсинки” якби згинаються у протилежні сторони. Насправді відбувається зсув з перекосом квазікристалєвої структури плівки. Опір її ковзанню у такому стані трохи підвищений. На відновлення орієнтації молекул у початкове положення перпендикулярно поверхням тіл потрібний деякий проміжок часу, а іноді дуже великий.

ЗМ у граничному шарі анізотропне: у тангенційному напрямку молекулярні шари легко згинаються і при товщині шару більше деякої критичної величини ковзають одна по одній. По нормалі до твердої поверхні плівка володіє високим опором стисненню. При стисненні граничні шари можуть витримувати тиски, що дорівнюють декільком тисячам МПа. Але ці шари легко руйнуються при досягненні температури десорбції. Гранична плівка різко відокремлюється від хаотично розташованих молекул в об'ємі. Товщина і міцність граничних плівок залежать від хімічного складу ЗМ або присадок, властивостей металу і навколишнього середовища.

Механізм тертя ПК при граничному змащуванні виглядає так. Внаслідок навантаження відбувається пружна і пластична деформації на площадках контакту, під якими слід розуміти площадки найбільш близького прилягання поверхонь, які покриті граничною плівкою ЗМ. На площадках контакту може відбутися взаємне укорінення поверхонь без порушення цілісності мастильної плівки. Опір руху під час ковзання складається з опору зсуву граничного шару та опору “проорюванню” поверхонь укоріненими об'ємами. Крім того, на площадках контакту, які зазнали впливу значної пластичної деформації, і в пунктах з високими місцевими

температурами може відбуватися руйнування мастильної плівки з подальшою адгезією поверхонь.

Завдяки рухливості молекул ЗМ на поверхнях тертя адсорбція відбувається з більшою швидкістю, що надає мастильній плівці властивість "самопікуватися" при місцевих ушкодженнях. Ця здатність відіграє велику роль у попередженні лавинного процесу схоплювання.

Гранична плівка, яка не поновлюється, із зростання шляху тертя зношується, ЗМ з плівки адсорбується на продукти зносу і виноситься з поверхонь тертя, тобто відбувається сублімація плівки як твердого тіла і вилучення ЗМ в атмосферу. Окислення плівки сприяє дезорієнтації структури і руйнує її [31].

В'язкість ЗМ не впливає на процес граничного змащування. ЗМ з однаковою в'язкістю, але різних марок, мають різну змащувальну дію. Для оцінки поведінки ЗМ при граничному змащуванні було введено поняття настильності. Масильність - комплекс властивостей, які забезпечують ефективне граничне змащування. Масильність оцінюється в основному за коефіцієнтом тертя: масильність вище, якщо коефіцієнт тертя нижче. Масильність характеризує дію ЗМ стосовно даного сполучення матеріалів вузла тертя. Але ефективне підвищення настильності мінеральних ЗМ при відсутності впливу на їхні інші властивості може бути досягнуте лише шляхом уведення до ЗМ невеликої кількості спеціальних присадок або інших ПАР, вплив яких у залежності від концентрації показано на рис.1.4 [47]. Крім речовин, що містять полярні молекули, які є у початковому ЗМ, компоненти, що мають активні молекули, можуть утворюватися у ЗМ в процесі його старіння, пов'язаному в основному з окисненням ЗМ киснем повітря і утворенням карбонових та оксикарбонових кислот, альдегідів, фенолів, тощо [47]. На рис.1.4 показано змінювання статичного коефіцієнту тертя сталі по сталі у залежності від концентрації ПАР при температурі від 20 до 100°C. Загальною властивістю присадок, що підвищують масильність

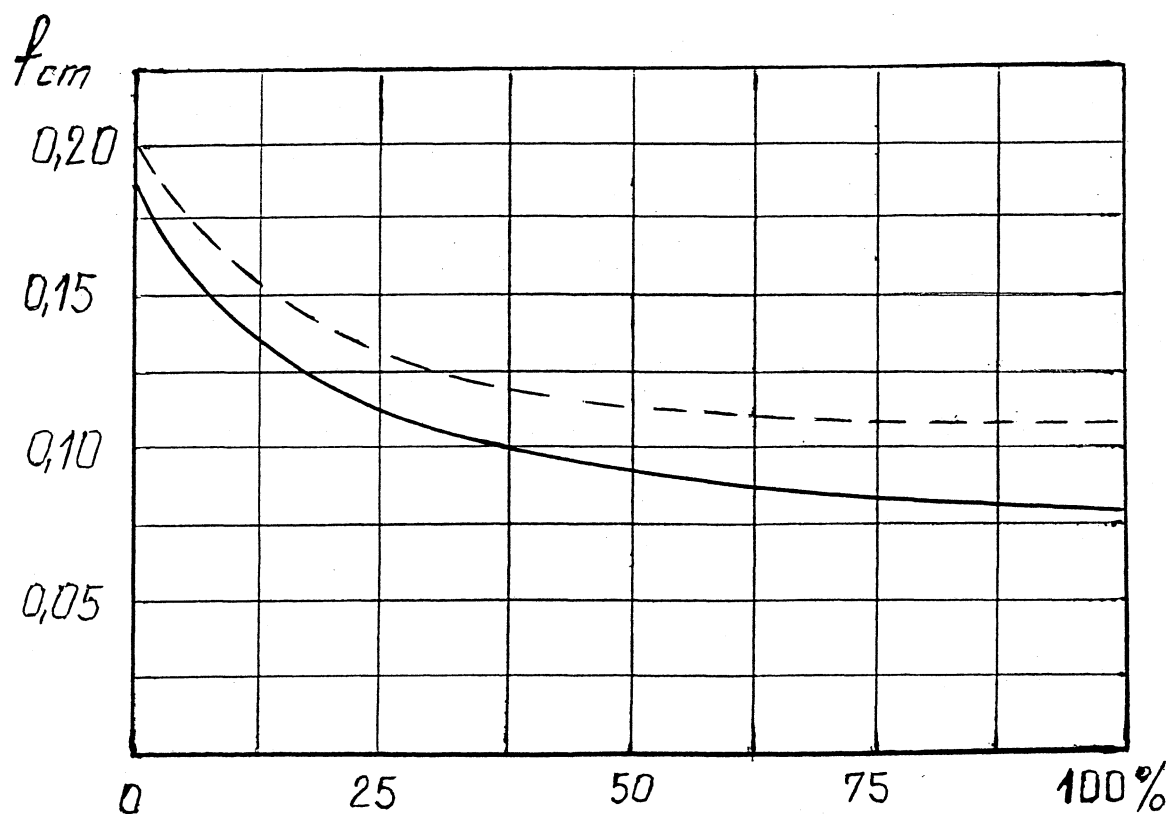


Рис. 1.4 Вплив поверхнево-активних добавок на тертя [47]:

- добавка олеїнової кислоти до парафіну;

----- . добавка сурепного мастила до мінерального

за рахунок утворення внаслідок адсорбції граничного шару, є їх висока полярність. Крім того, значна частина присадок, що призначені для роботи при надвисоких навантаженнях, хімічно взаємодіє з металом при нагріванні поверхні, а це приводить до того, що поверхневий шар металу змінюється за складом та властивостями [47].

У 1969 році Б.В. Дерягін, та М.М Снітковський висунули гіпотезу про те, що молекули ЗМ у граничному шарі згруповані у домени. Домен олеїнової кислоти в граничному шарі містить біля 1400 молекул. Домени формуються електромагнітними силами і немов би копіюють кристалічну будову підложки. Встановлено, що граничні шари володіють властивостями напівпровідникового елемента [31].

Процес утворення доменної структури граничного шару носить об'ємний характер. При цьому поверхня твердого тіла (поверхня тертя) впливає на величину доменів та їх орієнтацію. При контакті об'ємної рідини з твердим тілом поблизу поверхні відбувається укрупнення (за рахунок об'єднання) первинних утворень, що знаходяться у рідині. Розташування цих утворень у просторі визначається структурою дійсної поверхні та величиною моменту домену. В результаті у граничному шарі спостерігається рівномірна орієнтація доменів, що подібна полікристалічній [28].

Крім структури, на властивості граничного шару у ПК та їх поведінку під час тертя впливає об'ємний просторовий заряд, який виникає при контакті діелектрика (мастильної речовини) з поверхнею твердого тіла (поверхня тертя) і проникає на значну глибину (до кількох мкм). Цей заряд визначає особливі електричні властивості граничного шару, зокрема, їх високу провідність. Тим самим граничне змащування запобігає накопиченню на поверхнях тертя статичного заряду, руйнівна дія якого може бути значною. Електромагнітна природа граничних шарів є причиною того, що у поверхонь тертя зосереджені заряди одного знака. В результаті

при стисненні повинно спостерігатися зростання опору по мірі зменшення товщини граничних шарів. Це є результатом збільшення щільності об'ємних просторих зарядів. Система з граничними шарами в сильних, але допробойних полях, має вольт-амперну характеристику, яка змінюється від лінійної до нелінійної у залежності від товщини. Для різних ЗМ і речовин з товщиною, більше критичної (1-6 мкм), спостерігається припинення провідності [28].

Додавання у граничні шари ЗМ і водних розчинів ПАР, спеціальних добавок (присадок), що містять сполуки сірки, фосфору, хлору або сполучення цих елементів, підвищує товщину граничного шару і сприяє зменшенню зносу (до двох разів). Вводять також миш'як і сурму. Хоч ці присадки і адсорбуються на поверхнях тертя, але вони виконують іншу роль. В умовах високих температур, що утворюються на мікроконтактах, активне сполучення присадок розкладається і, взаємодіючи з металевими поверхнями, утворює плівки сульфїду заліза, фосфїту або фосфату заліза, хлористого заліза, тощо. Плівки, що утворились, запобігають металевому контакту, подальшому локальному підвищенню температури, знижують опір тертю. Плівка чинить слабкий опір зрізові, спрацьовується і відновлюється знову [83].

Плівка, що утворюється на поверхні сталі хлорованими вуглеводнями, зберігає свою працездатність до температури 300...400 °С. Вище цієї температури відбувається її руйнування. У сульфїдів температура плавлення вище, і мастильні здатності зберігаються до досягнення температури 800 °С. Нижче критичної температури плівка поводитья як тверді ЗМ [31]. Але дія присадок буде неефективною, якщо метал не вступає в реакцію з активною частиною присадки. Гранична плівка повинна володіти високим опором продавленню і низьким опором зрізу. Під час тертя з граничним змащуванням знос ПК великий. Це відбувається із-за

того, що контактуючі поверхні шершаві і контакт здійснюється на невеликих ділянках тертя.

Найбільш важливі причини зносу можна класифікувати згідно з статистичними дослідженнями, що наведені у табл.1.1 [71]. Звідси випливає, що основною причиною руйнування ПК є забруднення та припинення змащування, які посилюють ефекти решти факторів зносу.

Таблиця 1.1

Класифікація причин зносу ПК [71]

Причина	Випадки, %
1.Забруднення	42,98
2.Помилки під час складання	13,43
3.Відсутність мастила	12,66
4.Перевантаження	9,47
5.Корозія	6,33
6.Невідомі причини	5,06

Взагалі зносу ПК, наприклад, двигунів автотракторних машин, сприяють [71]:

- фактори, які спричиняють утворення зношених часток заліза (тонка плівка між кільцями та циліндрами, гарячі циліндри, поршні, що працюють при невеликих швидкостях, тощо);
- фактори, які сприяють рухові цих часток у ЗМ (холодні циліндри, поршні при великих швидкостях);
- фактори, які ведуть до зменшення мастильної плівки у ПК (високі температури у ПК, великі навантаження і невеликі швидкості, запуски та зупинки, тощо).

Для тяжко навантажених ПК найбільше розповсюдження отримали ЗМ з przypadками, що містять сірку або сірку та хлор. Більшість з подібних

присадок, а також присадки, що містять хлор і фосфор, є речовинами хімічно активними і для їх молекул адсорбція є лише початковою стадією процесу взаємодії з металом з подальшим утворенням на поверхні металу продуктів його реакції з присадкою, які відрізняються за температурою плавлення і твердістю від самого металу.

Виходячи з наведеного вище можна зробити висновок, що основними факторами, які впливають на зносостійкість ПК, є властивості ЗМ. Але, ЗМ не є стабільним з часом елементом машин. Під час експлуатації вони “старіють”, що приводить до погіршення їх властивостей. Це не може негативно вплинути на знос поверхонь тертя, зокрема, ПК, особливо під час роботи їх у нестационарному режимі. Виходячи з наведеного, розглянемо процеси та причини погіршення властивостей ЗМ при експлуатації машин і вплив цих процесів на знос вузлів тертя.

Зносостійкість машин та їх елементів, крім інших факторів, значно залежить від якості ЗМ, що застосовуються [15, 18, 20, 23, 32, 33, 39, 42, 45, 58, 59, 62, 65, 66, 68, 73, 75 - 78, 82, 84].

Сучасні ЗМ досить ефективно виконують свої функції, захищаючи, зокрема, поверхні тертя від зношування. Але ЗМ на відміну від інших елементів машин мають недостатньо високу стабільність властивостей протягом часу. Це обумовлено особливостями структури ЗМ, а також досить жорсткими умовами експлуатації (високими температурами, механічною навантаженістю поверхонь тертя та інше). Все це приводить до того, що при використанні у ЗМ відбуваються наступні процеси:

- окислення вуглеводнів;
- зміна в'язкості;
- забруднення;
- спрацьовування присадок.

Окислення вуглеводнів ЗМ відбувається під впливом високих температур, контакту з киснем повітря і стимулюється каталітичною дією конструкційних матеріалів, особливо кольорових [28].

В результаті окислення у ЗМ утворюються продукти забруднення органічного походження (лаки, смоли та інше), які погіршують умови відведення теплоти від поверхонь тертя і підвищують в'язкість. Крім того, внаслідок окислення в ЗМ з'являються кислоти, які інтенсифікують корозію поверхонь тертя.

Ступінь окисленості ЗМ оцінюється його К.ч. , величина якого по мірі експлуатації збільшується [75]. Збільшення К.ч., наприклад, ЗМ І-Г-С-32 на величину 0,5 - 0,6 мгКОН/г від початкового значення приводить до різкого збільшення зношування елементів гідروприводу, що дало підставу авторам роботи [63] вважати величину К.ч. 1,6 мгКОН/г бракувальним значенням, при досягненні якого ЗМ І-Г-А-32 підлягає заміні.

В'язкість, у залежності від технічних характеристик машин, властивостей ЗМ та умов експлуатації може збільшуватися або зменшуватися.

Збільшення в'язкості зумовлене появою в ЗМ продуктів забруднення органічного походження. Крім того, в'язкість підвищується під впливом високого тиску, що має місце в ПК та інших напружених елементах машин. Це приводить до збільшення енерговитрат за рахунок підвищення внутрішнього тертя у ЗМ [16, 29].

Більш небезпечним є зменшення в'язкості, яке викликане різкими перепадами тиску, внаслідок чого відбувається розрив міжмолекулярних зв'язків вуглеводнів ЗМ. В цьому випадку збільшуються витікання та внутрішні перетікання ЗМ, погіршуються його мастильні властивості. Слід зазначити, що зниження в'язкості ЗМ не завжди компенсується її збільшенням, тому що процес окислення відбувається з меншою

з швидкістю, ніж накопичення у ЗМ вуглеводнів з розірваними зв'язками. *

Тому в початковий період експлуатації ЗМ, коли більшість нестабільних вуглеводнів ще не окислилось, в'язкість трохи зменшується за рахунок деструкції. Потім за рахунок поступового накопичення продуктів окислення в'язкість ЗМ практично стабілізується [75]. Проте в ряді випадків має місце таке значне падіння в'язкості, що з часом її величина стає абсолютно неприпустимою для нормальної експлуатації машин. У ДВЗ в'язкість знижується ще за рахунок потрапляння до ЗМ з камери згоряння палива, що не згоріло.

Великий вплив на надійність елементів машин має чистота ЗМ. Тому вимоги до чистоти ЗМ постійно зростають [37, 41].

Засвоїм фізичним станом частки забруднення поділяються на тверді, рідинні та газоподібні [35, 36].

До твердих відносять металеві частки (продукти зносу, технологічний бруд, тощо) і пил, що потрапив до машин з навколишнього середовища. Ці частки є неорганічною складовою забруднення і підрозділяються на операційні (або технологічні), виробничі та експлуатаційні [75]. Операційні забруднення потрапляють до ЗМ під час заправлення, дозаправлення, а також під час транспортування і зберігання. До них належать кварцовий пісок та оксиди металів. Виробничі забруднення (стружка, ошурки, окалина, тощо) потрапляють до ЗМ під час виготовлення, складання і випробування машин. Експлуатаційні забруднення потрапляють до ЗМ з навколишнього середовища.

За даними [61] розподілення забруднень у ЗМ, наприклад, гідросистем екскаваторів приблизно таке: операційні - 20%, виробничі - 60% та експлуатаційні - 20%. При цьому механічні домішки неорганічного походження складають 75-80%, органічна частина, звичайно, не перевищує 25% від загальної забрудненості ЗМ.

Закономірності накопичення механічних домішок такі: у початковий період експлуатації різко зростає концентрація за експоненціальним

законом, потім процес стабілізується на деякому рівні [28, 45]. Стабілізація концентрації забруднень відбувається завдяки наявності засобів очищення та систематичному доливанню свіжого ЗМ [28, 75].

Частки забруднення у ЗМ неорганічного походження під час експлуатації машин викликають такі негативні явища [18, 26, 33, 40, 44-46, 58, 62, 66, 77, 78, 89, 90]:

- інтенсивне абразивне зношування;
- підвищене окислення ЗМ;
- гідроабразивне зношування;
- розрив змащувальної плівки і пов'язане з цим погіршення режиму змащування;
- збільшення в'язкості за рахунок органічних компонентів;
- затиснення плунжерів і клапанів;
- зростання зусиль на переміщення золотників і клапанів внаслідок потрапляння часток у зазори;
- засмічування фільтроелементів, заростання малих щілин в золотникових і дросельних елементах.

Ступінь забрудненості ЗМ оцінюється процентним вмістом часток по масі або класом чистоти згідно ГОСТ 17216-71 [34], який застосовується для РР гідроприводів. Згідно з цим стандартом кожному класу (від 00 до 17-го) відповідає певна кількість часток в 100 куб.см РР в тому або іншому інтервалі розмірів.

До рідинних забруднень належить вода, яка з'являється у ЗМ внаслідок конденсації, а також через негерметичність гідросистеми.

В умовах експлуатації наявність води стимулює утворення з ЗМ стійких емульсій. При зміні температури і тиску вода, що емульсована до ЗМ, здатна частково перейти до розчинного стану [75]. Наявність мікрокрапель води у мастильних плівках приводить до їх розриву, внаслідок чого відбувається безпосередній контакт поверхонь, що викликає

збільшення зносу в 1,5 - 2 рази [75]. Знос деталей, наприклад, гідроприводу, різко збільшується при наявності в РР води більше 0,3 - 0,5% [75].

До газоподібних забруднень належить, в основному, повітря, яке завжди присутнє в ЗМ у розчинному або нерозчинному стані. Повітря у ЗМ негативно впливає на його експлуатаційні властивості та довговічність вузлів тертя. Крім того, наявність нерозчиненого повітря значно прискорює процес окислення РР.

Як відомо, до більшості сучасних ЗМ для поліпшення їх властивостей додають легуючі присадки (антиокислювальні, протизношувальні, тощо) або композиції присадок. Це дозволяє значно покращити експлуатаційні властивості ЗМ та підвищує зносостійкість елементів машин. Додавання до нафтової основи ЗМ різних присадок у точно дозованих і збалансованих концентраціях різко змінює властивості базового (без присадки) ЗМ.

Усяке ЗМ повинно вміщувати як найменше видів найменувань присадок, тому що ускладнення складу утруднює одержування збалансованих властивостей ЗМ, підвищує вимоги до умов його експлуатації, та може викликати небажані другорядні ефекти у вигляді корозії та осадків [17, 38, 43]. Але деякі сучасні ЗМ, які використовуються для змащування найбільш відповідальних об'єктів, вміщують до 4-5 найменувань присадок. Одна і та ж присадка може поводити себе по різному в залежності від в'язкості і типу основи (ЗМ з парафінової або нафтової нафти, залишкова або дистилятна, очищена тим або іншим способом), а також характеру інших присадок, які використовуються у цьому ж ЗМ. Базові ЗМ різного походження і різної глибини очищення мають не однакову сприйнятливість до присадок. У свою чергу, деякі присадки, які входять до складу композицій, впливають одна на одну, проявляючи в одних випадках антагоністичний, у других синергетичний ефект. Ефективність присадок також відрізняється у залежності від

конкретних умов застосування ЗМ, наприклад, його температури, тривалості та характеру поверхонь тертя, їх матеріалу, навантаження, вологості атмосфери та інше. Сучасне легуюче ЗМ належить розглядати як складний хімічний продукт, який повинен вживатись тільки за призначенням. Складні леговані ЗМ більш чутливі до умов експлуатації і зовнішніх впливів, ніж чисто нафтові ЗМ. Тому неправильні умови застосування легованих ЗМ, а також їх вживання у стані обводнення, забруднення або змішування з іншими продуктами можуть стати шкідливим для пар тертя. Особливістю старіння легованих ЗМ є поступове погіршення властивостей присадок, які містяться у ЗМ. Це відбувається за таких причин [3, 53, 64]:

а) спрацьованість внаслідок витрати активних компонентів присадки, дія яких оснований на утворенні у зоні тертя хімічних сполук з матеріалу поверхонь, які змащуються [14];

б) розкладання присадок у ЗМ під впливом високих температур, а також деяких інших факторів, наприклад, радіоактивного випромінювання, наявності у ЗМ води та інше [27, 99];

в) деструкція полімерних присадок (деполімерізація), яка відбувається у в'язкісних (згущуючих), депресорних та інших присадках в результаті механічних дій під час прокачування ЗМ крізь вузькі зазори, а також при різких перепадах тиску (під час механічної деструкції молекули полімерів роздробляються на більш дрібні і ефективність присадки знижується) [27, 67];

г) випадання присадки до осадку [72];

д) адсорбція присадок на деталях машин, поверхнях фільтроелементів і частках забруднень [53];

е) зменшення концентрації присадки за рахунок витікання.

Присадки антиокислювального типу (інгібітори окислення) спрацьовуються при їх взаємодії з продуктами окислення, які інтенсивно

утворюються на початковій стадії експлуатації ЗМ [9]. Аналогічно спрацьовуються миюче-диспергуючі присадки, механізм дії яких засновано на нейтралізації ними продуктів окислювальної полімеризації [28].

Розкладання присадок під впливом високих температур відбувається досить інтенсивно в зонах тертя [97], коли мікроступи контактують своїми вершинами та зрізають один одного, що і стимулює різке збільшення температури. При цьому має місце не тільки спрацьовування присадок, але і утворення в продуктах розпаду речовин, які приводять до корозії деталей [28]-

Деструкція полімерних присадок зумовлена різкими перепадами тиску та прокачуванням ЗМ крізь вузькі зазори. При цьому за рахунок роздрібнювання полімерів присадки поступово знижується в'язкість ЗМ, що приводить до цілого ряду негативних наслідків, сутність яких описана вище.

Випадання до осаду характерно, в основному, для металовміщуючих присадок, особливо, якщо останні утворюють з нафтопродуктом колоїдну суміш [28].

Інтенсивність випадіння присадки в осадок різко зростає при обводненні ЗМ. Як показують дослідження, при наявності у моторних ЗМ води концентрація присадок знижується до 50...60% від початкової [28]. Якщо прийняти до уваги, що ЗМ з присадками гігроскопічні і обводнення машин, особливо тих, що експлуатуються на відкритому повітрі (наприклад, будівельні, шляхові, тощо) практично неминуче, то проблема підвищення якості обводнених ЗМ з присадками, що випали в осадок, набуває особливої актуальності [54, 56, 57].

Як відзначалось вище, однією з причин спрацьовування присадок є їх адсорбція на деталях машин, поверхнях фільтр о елементів та частках забруднень. Розглядаючи цю причину спрацьовування, слід відзначити, що роврізняють активну і пасивну частки присадки. Під активною розуміють ту

її частка, що знаходиться в ЗМ у розчинному стані, під пасивною - частку, яка адсорбувалась на секціях фільтрів, на механічних домішках і на поверхнях деталей. Припускають, що пасивна частка вже виконала свою функцію. У відповідності з таким розподілом наявність металу присадки в золі, яку отримали від нагрівання наважки ЗМ, що працювала, дорівнює сумі активних і пасивних компонентів, а в золі, яку отримали з осадку на фільтрі або з центрифуги, знаходиться пасивна частка присадки.

Такий розподіл не зовсім точний. Викликає інтерес не кількість металу присадки, яка визначається шляхом аналізу, а виявлення сполук або відкладень, в яких вона знаходиться в ЗМ. Вплив цих сполучень на ЗМ також не вивчено, як і їх склад та структура. Невідома і роль пасивної частки присадки, яка осіла на фільтрах. Можливо, що молекули присадки, які проходять крізь фільтруючі елементи, контактуючи з ЗМ, позитивно впливають на нього. Те ж саме можна сказати і про молекули присадок, які адсорбувалися на частках, що містяться в ЗМ. У всіх випадках під впливом підвищених температур можна очікувати їх десорбцію з поверхонь і наступне потрапляння до ЗМ, тобто перехід з пасивного стану до активного. Таким чином, терміни «пасивна і активна частки присадки» неточні.

В роботі [55], була зроблена спроба встановити ступінь витрати присадок на адсорбцію їх молекул на деталях, на механічних домішках в моторному ЗМ, а також на нейтралізацію кислих продуктів. Лабораторними методами за допомогою маспектрометричного і атомно-адсорбційного аналізу був знайдений зв'язок між наявністю у працюючих ЗМ механічних домішок і витратою присадки. Під час досліду ЗМ зазнало тривалого відстою і центрифугування. Це підтверджує спрацьовування присадки, яке викликається витягуванням механічних домішок мастилоочищувальними пристроями. Але ця стаття витрати присадки має другорядне значення. В основному спрацьовування присадки пов'язано з хімічними процесам» нейтралізації. В процесі проведення моторних

досліджень моторного ЗМ ДП-11 [7], як завжди наступав період стабілізації наявності механічних домішок, в той час як лужність ЗМ знижувалась до нуля. Такий результат підтверджує важливішу роль хімічних процесів (нейтралізації) ніж фізико-хімічних (адсорбцією) і показує, що зниження лужності в процесі застосування ще не пов'язано з погіршенням його деяких властивостей. Моторні дослідження показали також, що різке зниження концентрації компонентів присадки в початковий період роботи ЗМ пов'язано з її адсорбцією на поверхнях деталей ДВЗ. Це важливо, тому що є одним з принципів, на яких оснований механізм дії миючих присадок. Надалі, з появою механічних домішок в моторному ЗМ адсорбція присадки на поверхнях деталей ДВЗ і виведення її очищенням стають домінуючими.

Розглянемо результати дослідження, що наведені в літературі та спрямовані на встановлення закономірностей спрацьовування присадок. Слід відзначити, що переважна більшість досліджень присвячених цьому процесу стосується моторних ЗМ [12, 27, 53, 64, 72 та інші]. Згідно з результатами цих досліджень спрацьовування присадок відповідає, в основному, закономірностям хімічних реакцій першого та іноді нульового порядків [10, 11]. Ця обставина в повній мірі ілюструється рис.1.5 та рис.1.6 [27], де показано зміну концентрації присадок в ЗМ ДВЗ у залежності від пробігу автомобілів. Аналогічні закономірності приведені у роботі [53] та ряді інших досліджень.

Як видно з наведених графіків, у початковий період експлуатації моторних ЗМ йде зниження концентрації присадок з відносно високою швидкістю, а потім процес спрацьовування квазістабілізується. Різне зменшення концентрації у початковий період зумовлено, очевидно, значною адсорбцією присадки на деталях ДВЗ, частках домішок, тощо, а також нейтралізацією кислих продуктів у ЗМ. Коли в тій або іншій ступені ці процеси завершилися, швидкість спрацьовування стає практично постійною і величина її підтримується доливаннями свіжого ЗМ.

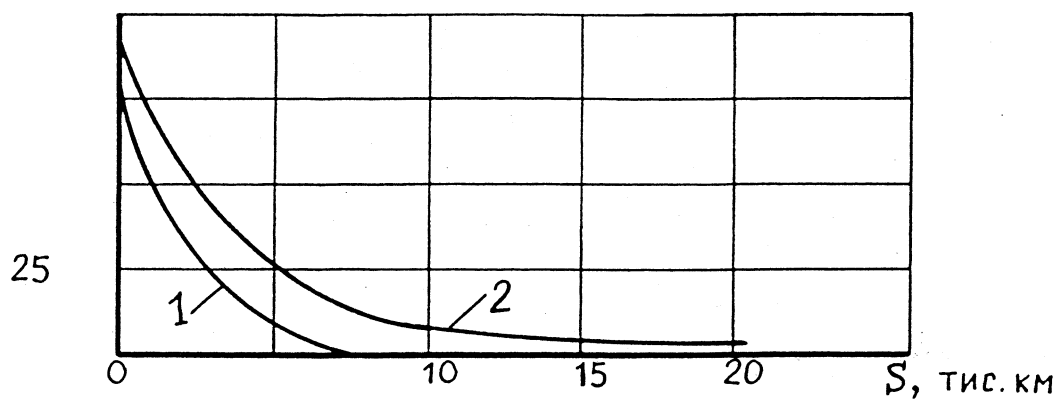


Рис. 1.5 Залежність наявності сульфонатних (1) і фенольних (2) присадок в мастилі від пробігу автомобільного двигуна [27]

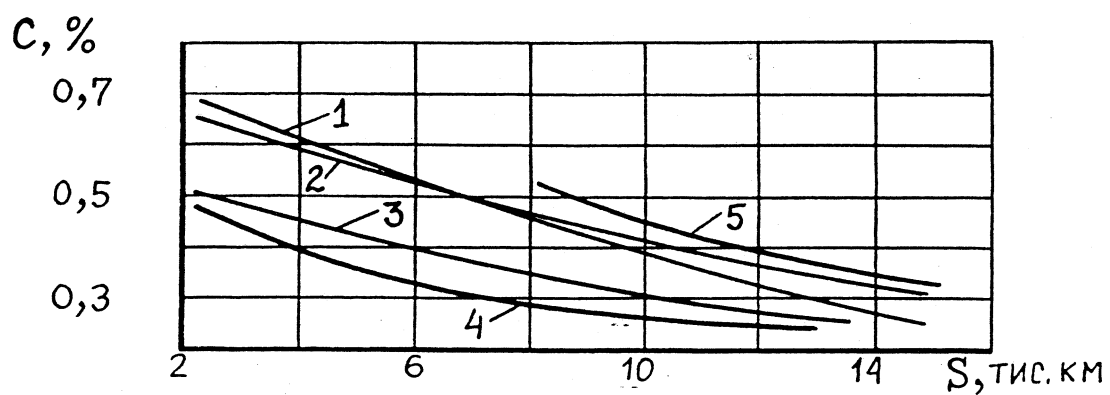


Рис.1.6 Залежність наявності діалкілдітіофосфату цинку в мастилі від пробігу автомобіля [27]:

1 - М-12ГІ; 2 - М-10ГЗ ; 3 - М-12Г ; 4 - М-8Г ; 5 - М-8ГІ

Вираз, що описує швидкість спрацьовування миюче-диспергуючих присадок до моторних ЗМ, має вигляд [27]:

$$\frac{dC}{dt} = -K C$$

де C - лужність;

t -час;

K - константа швидкості спрацьовування.

Інтегруючи цей вираз, можна отримати найпростішу (без обліку угару та доливання ЗМ у картер ДВЗ) залежність лужності ЗМ від часу :

$$c = C_0 e^{-Kt}, \quad (1.2)$$

де C_0 - початкова лужність ЗМ.

З виразу (1.2) можна знайти час спрацьовування присадки до бракувального значення концентрації:

$$t = \frac{1}{K} \ln \frac{C_0}{C} \quad (1.3)$$

З виразу (1.3) випливає, що збільшення строку служби ЗМ шляхом підвищення в ньому початкової концентрації присадок є нераціональним. Наприклад, для збільшення строку служби ЗМ удвічі при значенні $K = 1/50$, початкову концентрацію необхідно збільшити у e^2 (7,3) разів, що з економічної точки зору є не вигідним.

Зменшення витрати присадок має важливе значення у зв'язку з їх постійним дефіцитом та відносно високою вартістю (вартість деяких присадок в десятки разів перевищує вартість базових ЗМ). І хоч уведення

присадок до ЗМ сприяє підвищенню їх ресурсу, значні концентрації присадок не приводять до подальшого підвищення ефективності ЗМ, а в окремих випадках навіть погіршують їх властивості [27, 28].

Наведені вище дані щодо спрацьовування присадок в моторних ЗМ в тій або іншій мірі можуть бути справедливими і до ЗМ, які використовуються у гідроприводах як РР. Такий висновок підтверджується результатами досліджень спрацьовування антиокислювальної присадки іонол у РР Тп-22, що використовувалась як РР для гідроприводів тор цекруглош ліфу вальних верстатів моделі ЗТ161А [1, 9, 24].

Як видно з рис.1.7 [69], наявність іонолу в РР Тп-22 після 1200 годин експлуатації в гідроприводі верстатів знизилась практично вдвічі. Аналізуючи графік залежності $\ln C_t = f(t)$ автори [69] вивели рівняння, що описує закономірність спрацьовування іонолу:

$$\ln C_t = \ln C_0 - K_x t \quad (1.4)$$

де C_t - концентрація присадки в момент часу T ;

C_0 - початкова концентрація присадки;

K - стала величина, що дорівнює тангенсу кута нахилу прямої до осі абсцис (для РР Тп-22, яка експлуатується в гідросистемах верстатів ЗТ161А, $K=4,9 \cdot 10^{-4}$ [69]).

Отже

$$\ln C_t = \ln C_0 - 4,9 \cdot 10^{-4} t \quad (1.5)$$

Остаточно

$$C_t = C_0 e^{-4,9 \cdot 10^{-4} t} \quad (1.6)$$

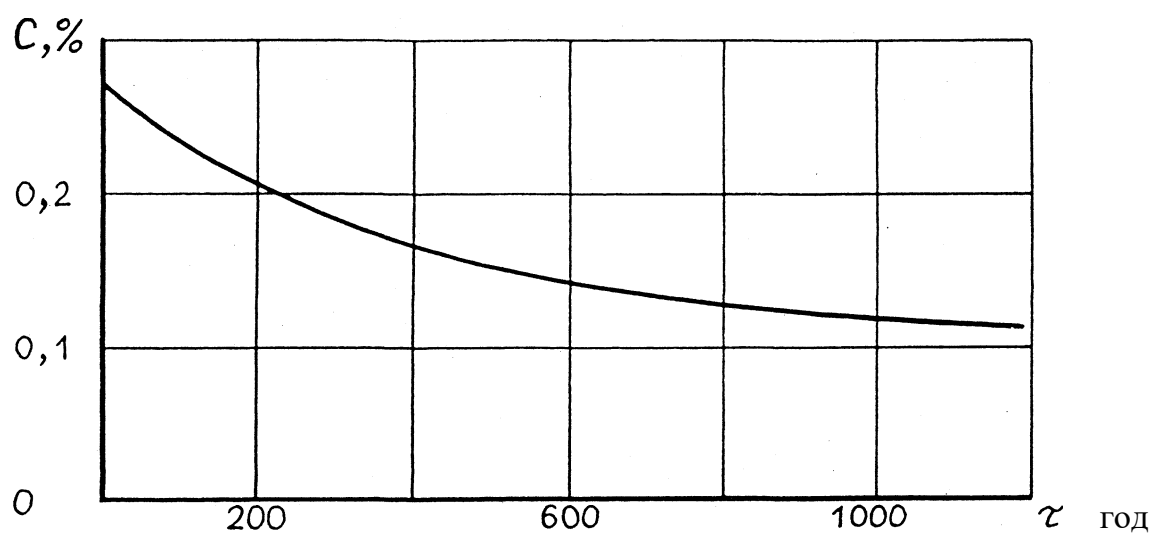


Рис. 1.7 Зміна наявності іонолу в мастилі Тп-22 під час експлуатації гідроприводів [69]

З рівняння (1.6) виходить, що процес спрацьовування іонолу в РР Тп-22 також підлягає закономірностям реакцій першого порядку. Тому у [69] зроблено висновок, що в РР для гідроприводів кінетика спрацьовування присадок, мабуть, аналогічна закономірностям, які мають місце в моторних ЗМ.

Використовуючи вираз (1.6) можна визначити час спрацьовування присадки іонол до мінімально допустимого (бракувального) значення C :

$$t_{\text{спр}} = 4,9 \cdot 10^{-4} \frac{1}{C_0 - C} \quad (1.7)$$

З (1.7) можна зробити висновок аналогічний тому, який був зроблений для моторних ЗМ: для збільшення строку служби в гідроприводах РР ТП-22 в два рази (по спрацьовуванню іонолу) необхідно у 7,3 рази збільшити початкову концентрацію присадки, що не вигідно з економічної точки зору, як показано вище.

Слід відзначити, що за виключенням відомостей щодо антиокислювальної присадки іонол та надрукованих у роботах [1, 9, 24, 69], у вітчизняній і зарубіжній літературі відсутні публікації, які стосуються спрацьовування інших присадок у ЗМ, зокрема, протизношувальних. А саме вони у значній мірі визначають протизношувальні властивості ЗМ, а отже, зносостійкість вузлів тертя машин.

З іншого боку, слід очікувати, що протизношувальні присадки обмежують строки служби ЗМ, оскільки зниження концентрації за рахунок їх спрацьовування до будь-якого мінімально допустимого значення приводить до збільшення інтенсивності зношування, а отже, до необхідності заміни ЗМ на свіже.

1.2. Шляхи забезпечення стабілізації протизношувальних властивостей змащувальних мастил

На сьогодні розроблено відносно нові методи поліпшення протизношувальних властивостей ЗМ та збільшення їх строків служби. Це насамперед періодичне додаткове очищення ЗМ від часток забруднень за допомогою стаціонарних та мобільних постів [73], а також постійне штучне диспергування цих часток до розмірів не більш ніж 5 мкм [26]. Такі заходи корисні, тому що сприяють зниженню інтенсивності зношування вузлів тертя і продовженню строків служби ЗМ. Але, вони впливають тільки на кількісний та якісний склад часток і не мають ніякого впливу на структуру самого ЗМ. Крім того, практичне застосування цих заходів в експлуатації пов'язане або зі значними матеріальними витратами (стаціонарні та мобільні пости очищення), або з необхідністю переобладнання (хоча і незначного) системи змащування деталей машин (пристрої для диспергування часток забруднень). Останнє не завжди можливе, тому що у багатьох конструкціях насоси, що живлять пристрої для диспергування, не завжди мають запас по продуктивності. Окрім того, такі пристрої можна використовувати тільки в тих агрегатах, де змащування вузлів тертя, наприклад, ПК, проходить під тиском (гідроприводи, ДВЗ та інше).

Як відзначалось у підрозділі 1.1, одним з основних процесів, що супроводжують експлуатацію ЗМ та знижують їх експлуатаційні, зокрема, протизношувальні властивості, є спрацьовування присадок. Збільшення початкової концентрації присадки, наприклад, іонолу при експлуатації ЗМ з метою покращення їх властивостей буде недоцільним, тому що для збільшення ресурсу ЗМ у два рази необхідно у 7,3 рази збільшити початкову концентрацію присадки.

З кінетичної точки зору доцільним, мабуть, є подібнення призначеної для ЗМ кількості присадки на якомога більше число часток і періодичне (по мірі зменшення концентрації до гранично допустимого рівня $C_{\text{сп}}$) додавання чергових доз шляхом дозованого уведення, що переконливо показано в роботах, стосовно моторних ЗМ [2, 5 - 7, 27, 52].

Розрахунки, які наведені у [75], показали, що порційний і безперервний спосіб уведення присадок більш економічний, ніж одноразове уведення [87]. Так, якщо концентрація C_0 присадки при одноразовому уведенні у 3 рази перебільшує мінімально допустиму, то заміна на безперервне дозоване уведення може забезпечити при цій же витраті присадки збільшення строку спрацьовування майже у 2 рази, а при співвідношенні $C_0/C_{\text{мін}} = 5$ - в 3 рази [3]. Позитивний ефект цього заходу виявляється не тільки у збільшенні строків служби ЗМ, але і в підвищенні зносостійкості деталей машин.

Наведені нижче приклади вказують на значну перспективність методу дозованого уведення присадок. Це підтверджується результатами досліджень проведених, в основному, з моторними ЗМ [28, 79 - 81].

Розглянемо деякі результати цих досліджень.

В роботах [35, 53] приведено експериментальні дані, які свідчать, що позитивний ефект у ДВЗ виявляється не тільки у зниженні швидкості зношування деталей двигуна але і у збільшенні строків зміни ЗМ. Це спостерігається навіть при самих простих способах дозованого уведення. Згідно з даними, отриманими під час проведення стендових і польових випробувань тракторів з двигунами СМД-14 і Д-50, найбільш різко лужність ЗМ знизилась в початковий період роботи двигуна після зміни ЗМ. Під час роботи двигуна СМД-14 до 75% присадок спрацьовується за 10 годин. В двигуні Д-50 на протязі 80 годин лужність ЗМ зменшується з 3 до 1,4 мг КОН/г.

Зміна режиму змащування - додавання в картер СМД-14 через кожні 90 - 120 мотогодин 0,5 - 0,9 кг присадок ВНДІП-360 дозволяє збільшити строк роботи двигунів без заміни ЗМ до 2500 - 3000 годин (в стендових умовах). В польових умовах це дає можливість робити сезонну зміну ЗМ, тобто 2 рази на рік. При такому режимі змащування значно менше зношуються деталі двигуна і зменшується забруднення поршневої групи деталей [27, 35, 53].

При переході на новий режим змащування знос деталей поршневої групи двигуна знижується на 20 - 25 % і збільшується строк служби елементів фільтра грубої очистки мастила на 30 - 40%. Відкладання лаку і нагару на поршнях двигуна зменшується на 30 %, витрата картерного ЗМ скорочується на 25 - 30 %. У зв'язку зі збільшенням ресурсу двигунів при введенні нового режиму змащування значно знижуються питомі витрати на поточні і капітальні ремонти.

В роботі [53] також показана ефективність безперервного дозованого додавання присадок до моторних ЗМ. Випробування проводили на карбюраторному двигуні. У картер заливали ЗМ Дп-11 з присадками МК-3 і ІНХП-21. Ефективність дозування присадок перевіряли у процесі роботи двигуна. При цьому сумарна витрата присадок знижувалась на 25 - 30 %. Загальний технічний стан двигуна після 150 годин роботи з безперервним додаванням присадок був значно кращим, ніж за цей час з одноразовим уведенням присадок до ЗМ.

Розглянемо відомі з вітчизняної та зарубіжної літератури методи дозованого уведення присадок.

Дозоване уведення присадок можна здійснювати як механічним шляхом (періодичним доливанням, безперервним дозуванням механічними дозаторами), так і за допомогою спеціальних носіїв, подача присадок з яких здійснюється шляхом поступового розчинення та дифузії. Застосування

таких носіїв спрощує реалізацію дозованого уведення і виключає необхідність оснащення систем дозаторами механічного типу [24, 69,107].

Існує метод дозованого уведення, заснований на покритті паперу фільтр о елементів присадкою, яка з часом розчиняється у мастилі. Ця ідея вперше була запатентована фірмою США "Atlantic Refining Company" [107]. В наступних патентах [101, 102, 108,109] використовувалась ця ж ідея.

Принциповою проблемою, пов'язаною з системами подачі присадки з паперу, який було покрито присадкою, стало зростання швидкості розчинення. Крім того, на папір можна нанести обмежену кількість присадки, яка до того ж погіршує фільтрацію. Було запатентовано [103-105] пристрої для дозованого уведення присадок шляхом подавання їх у рідкому стані зі спеціального резервуару у ЗМ, але цей метод дуже дорогий і складний.

Фірмою США "Mobil Oil" проблема підтримання у ЗМ ефективного рівня присадок була вирішена так [106]. Було знайдено клас хімічних речовин, які виступали "основною сполукою", для утримання деяких присадок у молекулярному мірилі. Ці присадки утримуються, доки локальні температури не викликають руйнування або розчинення "основної сполуки", звільнюючи присадку, яка до цього часу залишається хімічно пасивною до ЗМ. Принциповим недоліком цього методу є ускладнена обробка і обмежена кількість типів присадок [69].

Григор'євим Б.П. [86, 88, 94 - 96, 108, 109] запропоновано апарат стабілізації ЗМ (АСМ) для продовження термінів використання деталей тертя та ЗМ у процесі роботи машин. Апарат, який складається з двох основних вузлів, розміщують у потоці ЗМ. У першому вузлі ЗМ проходить крізь касету з кристалічним йодом, у другому - зі сплавом натрію з оловом.

Фірма США "Motor Auto Equipment" [110] розробила новий автомобільний мастильний фільтр, який вмщує тверді інгібітори старіння ЗМ, що одержав назву "фільтр-плюс". Цей фільтр упродовжений в Сан- *

Франциско у березні 1976 року. "Фільтр-плюс" продовжує строк використання ЗМ на 50%.

Поряд з безперервним і періодичним додаванням присадок механічними способами застосовують і інші способи дозованого уведення присадок з використанням дифузійних процесів [8]. У цих випадках для присадок використовують ємкості з матеріалів, фізико-хімічні властивості яких забезпечують потрапляння присадок у ЗМ під час його контакту з цими матеріалами. Для таких матеріалів - носіїв присадок - застосовують різні пористі речовини [1, 4, 8, 9, 13, 85]. Носії насичують присадками, а потім розміщують у спеціальній ємкості на лінії циркуляції ЗМ. При циркуляції гарячого ЗМ відбувається інтенсивний масообмін з пористим носієм присадок. Замінюючи поверхню носія, витрату ЗМ через лінію циркуляції та інші показники можна підібрати режим дозування присадки, найбільш близький до темпу її спрацьовування. В іншій роботі [5] також описана система дозованого уведення присадок з використанням як носія повільнорозчинних у ЗМ полімерів, наприклад, поліізобутилена з молекулярною масою біля 100000. Розплавлений полімер змішують з сукцинімідними, сульфонатними і діалкілдітіофосфатними присадками. Суміш охолоджують і затверділу масу розташовують у корпусі мастильного фільтру. Під час циркуляції ЗМ у працюючому двигуні поліізобутилен повільно розчиняється, а разом з поліізобутиленом розчиняються і присадки. Наприкінці проведених випробувань запас присадки у ЗМ виявився вищим, а стан деталей двигуна кращим, ніж при звичайній системі змащування.

Підтримка концентрації присадок на заданому рівні особливо доцільна при роботі машин в важких умовах: частих поворотах і зупинках тяжко навантаженого транспорту у відкритих кар'єрах, портах, складських приміщеннях та інше. В таких умовах спостерігається особливо прискорене старіння ЗМ і вичерпування (спрацьовування) запасу присадок [27].

Для забезпечення дозованого уведення присадок їх композицію розташовують у тонкостінному пластмасовому контейнері, який виготовлено з нерозчинних у вуглеводневих ЗМ матеріалів: поліпропілена і сополімера, пропілена і етилена. Контейнер встановлюють у корпусі мастильного фільтру на лінії циркуляції ЗМ. На відміну від попереднього варіанту, дозоване уведення здійснюється шляхом дифузії присадок через стінки контейнера. Швидкість потрапляння присадок до ЗМ залежить від матеріалу і товщини стінок контейнера, швидкості циркуляції і, особливо, від температури ЗМ у двигуні.

Підвищення швидкості дозування присадок з температурою у всіх методах дозованого уведення, основаних на дифузії, має велике значення, тому що перегрівання двигуна супроводжується прискореним старінням ЗМ і спрацьовуванням присадок [27].

Як відомо, зі зниженням температури на 10°C швидкість дифузії зменшується приблизно вдвічі. Тому, якщо параметри полімерного носія присадок забезпечують потрібну швидкість дозованого уведення присадок при температурі, яка характерна для працюючого двигуна, то при низьких температурах (тривалий простій двигуна) швидкість дифузії присадок зменшується в 50 - 100 разів. Така різка залежність швидкості дифузії від температури надає полімерним носіям властивість поповнювати ЗМ присадками тільки тоді, коли їх запас інтенсивно зменшується, тобто під час роботи двигуна [27].

Порівняльні випробування, які було проведено на спеціально перероблених двигунах Peetter W-I, також свідчать про перспективність дозованого уведення присадок. Для його здійснення концентрат присадок було акумульовано на спеціальному носії, фізико-хімічні властивості якого забезпечували видавання присадок СБ-ЗУ і ІНХП-21 зі швидкістю 1,25 - 0,36 г/год. Випробування проводили на товарному ЗМ АС-8, в яке додатково було уведено присадки ІНХП-21 і СБ-ЗУ. Як еталон,* випробували за

стандартною методикою товарне ЗМ АС-8 з 5% СБ-ЗУ і 1,2% ІНХП-21 [5, 27, 69].

Під час моторних випробувань у пробах ЗМ, які було відібрано, визначали зменшення лужного і збільшення К.ч., а також антиокислювальну стабільність ЗМ за приростом його в'язкості.

Проведені випробування показали, що при дозованому уведенні присадок після 42 - годинних випробувань ЗМ було за всіма показниками краще еталонного ЗМ після його роботи протягом 36 годин. Стан деталей двигуна у балах також показував перевагу дозованого уведення. При цьому крива спрацьовування лужного запасу еталонного ЗМ мала вигляд, характерний для реакцій першого порядку. Під час використання дозованого уведення крива була більш пологою, а строки спрацьовування присадки значно збільшились. Ресурс ЗМ виріс на 25 - 30% [27]. У практичному відношенні доцільним буде прийняти препаративні форми концентраторів присадок у рідинній або твердій фазі. У цьому випадку можна при тому ж об'ємі присадки підвищити її кількість, яка уводиться зразу до ЗМ (таким чином значно збільшити строк його використання).

Використання препаративних форм присадки у твердій фазі має ряд переваг, які виявляються під час аналізу рішення математичної моделі застосування препаративних форм для дозованого уведення присадок. Такий спосіб спрощує конструкцію дозуючого пристрою у порівнянні з механічними системами подачі присадок.

Препаративна форма - це речовина, яка запакована у контейнери. Їх застосування ґрунтується на поступовому або різкому вивільненні присадки, яка міститься всередині. Останнім часом досягнуто значних успіхів в області утворення препаративних форм, що дало можливість створювати їх з поступовим та регулюючим вивільненням вміщеного.

Під час поступового вивільнення протягом тривалого часу є

*

можливість забезпечувати присутність даної речовини (присадки) у

зовнішньому середовищі, а при дотриманні певних умов - підтримувати концентрацію у заданому діапазоні. При цьому досягається продовження строку дії указаної речовини та підвищення ефективності її застосування. Фірмою "Philips Petroleum Co" (США) запатентована капсула для присадки (антиоксиданта) з полімерного матеріалу [101,104]. Цю капсулу розміщують у мастильному фільтрі системи, де вона вступає в контакт з потоком ЗМ [69].

У ВНДПКнафтохімі розроблені препаративні форми антиокислювальної (іюнол), антикорозійних (МСДА, ІКБ2-2), протизносної (КИНХ-2) та інших присадок, які є носіями дифузійного типу. Швидкість дифузії зростає з температурою, при підвищенні якої з 20° С до 100° С підвищується швидкість виділення присадок до ЗМ у 100 разів. Використовуючи цю властивість, можна підібрати також параметри носія дифузійного типу, які забезпечили б дозування присадок. У ВНДПКнафтохімі розроблено методи отримання різних препаративних форм присадок, що мають задану швидкість їх вивільнення.

Для успішного застосування таких препаративних форм швидкість видачі присадки повинна бути узгоджена зі швидкістю її спрацьовування у ЗМ. Препаративні форми містять до 90% присадки, біля 10% - матеріалу оболонки, розміри якої складають 300 - 900 мкм. Оболонки проникливі, вміст здатний до дифузії у навколишнє ЗМ. Шляхом зміни умов синтезу препаративних форм можна забезпечити різну швидкість дифузії, тобто дифузійну проникність оболонок [69].

Практична реалізація масообміну може бути виконана шляхом розміщення препаративних форм присадки у пакеті, який установлюється у спеціальному корпусі, крізь котрий циркулює все ЗМ, або у корпусі, який включається паралельно з основною лінією циркуляції ЗМ. Але при такому способі необхідне застосування спеціального устаткування для створення мікрокапсул з присадкою, деякий час для мікрокапсулювання, наявність

пористого матеріалу для оболонок капсул. Все це впливає на собівартість цього методу [24, 69].

В роботах [1, 9, 69] приведені дослідження для встановлення ефективності вивільнення іонолу через препаративні форми і оцінки впливу цього процесу на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості ЗМ. На спеціальному пристрою проходило штучне окислення ЗМ Тп-22 шляхом витримування його протягом 140 годин при температурі 50°C у присутності мідної пластини, яка виконувала роль каталізатора.

Для інтенсифікації процесу окислення до ЗМ нагніталось повітря. Дослідження проводились у два етапи, до того ж ЗМ окислювалось як без дозованого уведення, так і в присутності препаративних форм іонолу.

Результати випробувань показали, що К.ч. ЗМ Тп-22, яке було штучно окислене у присутності препаративних форм іонолу, нижче, ніж у ЗМ без дозованого уведення присадки (рис.1.8 [69]).

Для дослідження корозійних властивостей був застосований пристрій АП-1, що дозволяє окислювати ЗМ, яке знаходиться у тонкому шарі, і визначати його корозійну агресивність. При цьому до ЗМ І-Г-А-32, яке використовувалось під час випробувань, у концентрації 1% від його об'єму додавалась препаративна форма іонолу. Як впливає з проведених досліджень, швидкість зростання К.ч. ЗМ, над яким проводились випробування, з дозованим уведенням менше, ніж без нього, а корозійна агресивність зменшилась у 1,35 рази (рис.1.9 [69]). Змащувальні властивості ЗМ І-Г-А-32 з дозованим вводом іонолу оцінювались за допомогою машини тертя СМЦ-2.

З табл.1.2 видно, що під час роботи пари тертя наЗМ, в якому були присутні препаративні форми іонолу, знизилась коефіцієнт тертя в (1,2 рази) та сумарний знос пари тертя (в 1,25 рази), що свідчить про поліпшення змащувальних властивостей ЗМ з дозованим уведенням присадки.

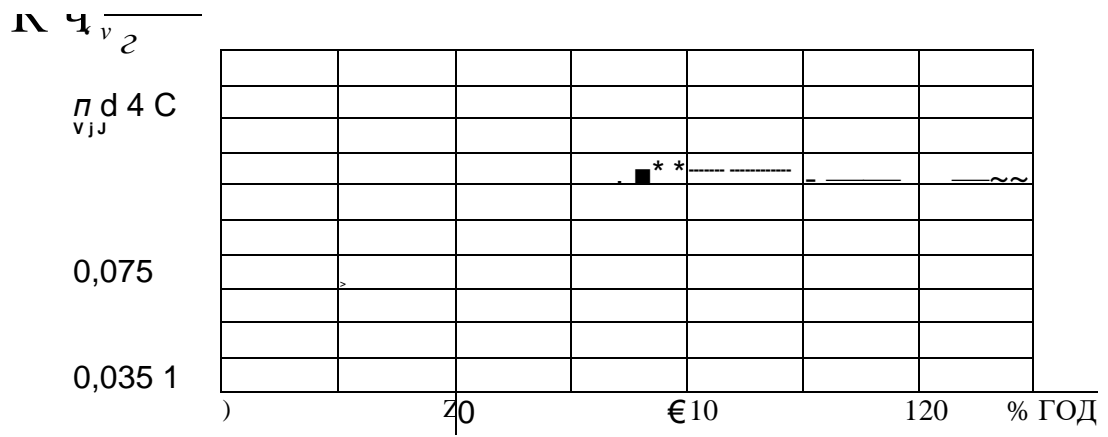


Рис.1.8 Зміна К.ч. мастила Тп-22 при штучному окисленні у присутності препаративних форм (.....) і без них (-----) [69]

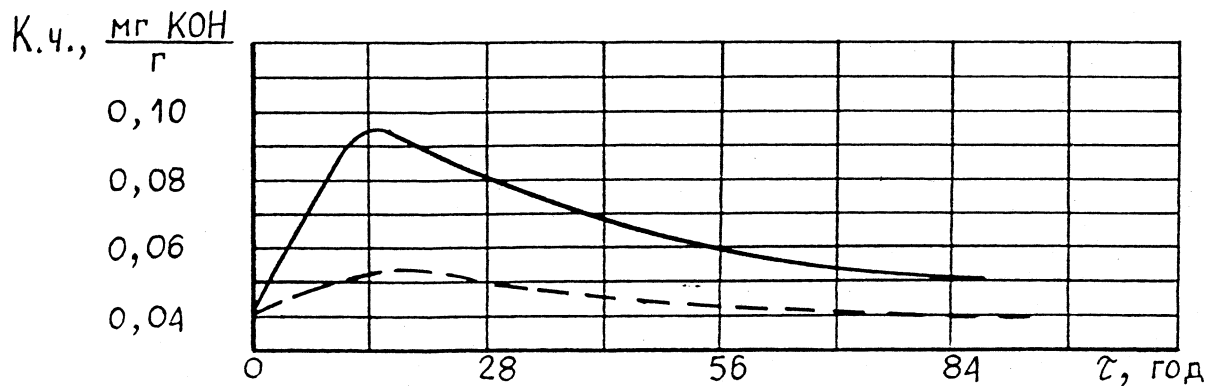


Рис.1.9 Зміна К.ч. мастила I-Г-A-32 під час випробувань на приладі АП-1 у присутності препаративних форм іонолу (.....) і без них (-----) [«]

Таблиця 1.2

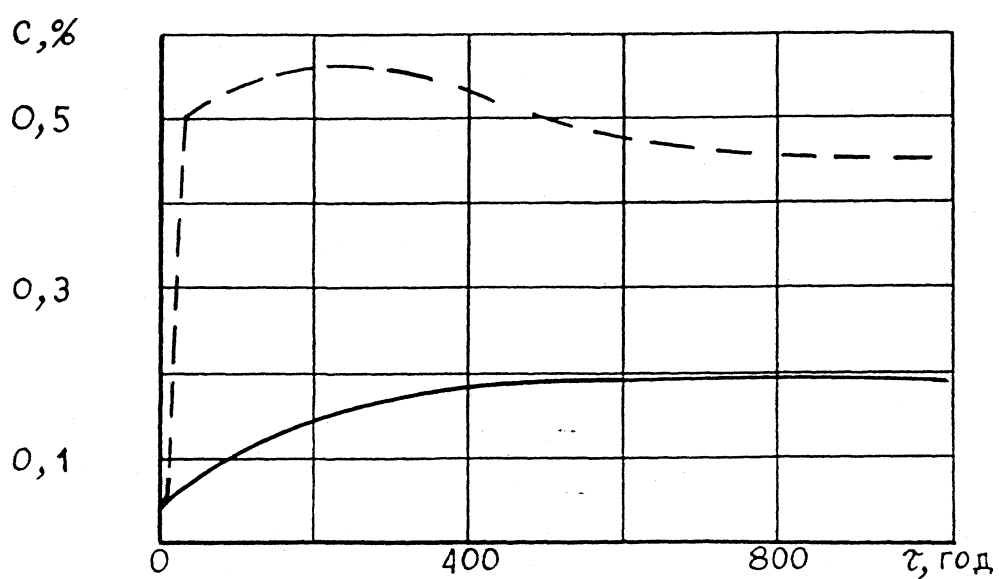
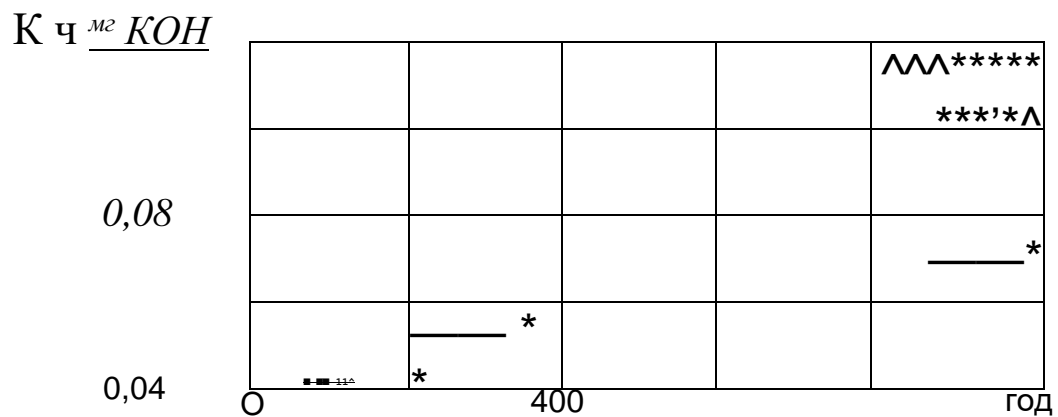
Результати досліджень змащувальних властивостей ЗМ І-Г-А-32 на машині
тертя СМЦ-2 [69]

Наявність дозованого уведення	Коефіцієнт тертя	Знос, г		
		колодочки	ролика	сумарний
немає	0,017	0,1915	0,0024	0,1939
1% препаративних форм іонолу	0,014	0,1545	0,0016	0,1562

Примітка. Матеріали: колодочки - бронза БрАЖ9-4; ролика - сталь 20Х.

Крім того, були проведені стендові випробування протизносних властивостей ЗМ І-Г-С-32 в пластинкових насосах за методикою, яка описана в [25]. Випробування проводились у два етапи тривалістю 100 годин кожний. На першому етапі стенд з насосами БГ12-42 працював без дозованого уведення іонолу, а на другому етапі (після зміни ЗМ на свіже і установлення інших насосів) з пристроєм, в якому знаходились препаративні форми іонолу (1% присадки). Результати стендових випробувань показали, що швидкість окислення ЗМ з дозованим уведенням в 1,25 рази менша, ніж без дозованого уведення. При цьому знос пластин насосів зменшився в 1,5 рази (за рахунок корозійно-механічного зношування).

Експлуатаційні спостереження за роботою гідросистем з дозованим уведенням іонолу показали (рис.1.10), що застосування цього методу дозволяє значно гальмувати процес окислення ЗМ і підтримувати наявність іонолу в ньому на високому рівні [69]. На підставі результатів досліджень було зроблено висновок, що іонол ефективно вивільнюється через оболонку препаративних форм. Це дає можливість підтримувати в ЗМ більш високу



б)

Рис.1.10 К.ч. (а) і наявність іонолу (б) в мастилі Тп-22 при експлуатаційних випробуваннях гідропривода з дозованим уведенням іонолу (.....) і без нього (-----) [69]

*

концентрацію присадки, що в свою чергу, приводить до зниження швидкості окислення ЗМ, зменшення її корозійної агресивності, поліпшення мастильної здатності ЗМ [69].

Відомо пристрій (рис.1.11), який забезпечує додавання присадки до ЗМ і дозволяє збільшити надійність системи змащування шляхом поліпшення якості змішування присадки з ЗМ [81]. Від генератора ДВЗ 1 через блок електроживлення напруга підводиться до датчика часу, який починає працювати і відраховувати час роботи ДВЗ. Після заданого часу, який експериментально встановлено або теоретично розраховано для конкретного типу ДВЗ та режимів роботи, спрацьовує датчик часу і замикає нормально разімкнені контакти в ланцюзі живлення обмотки електромагнітного клапана 2. Через електромагнітний клапан 2 стиснене повітря потрапляє у надпоршневу порожнину 3 дозатора 4 і діє на поршень 5, який переміщується у крайнє праве положення, видавлюючи присадку з порожнини 6 дозатора 4 через зворотній клапан 7, розпилувач 8 до мастильного бака 9. При досягненні поршнем 5 крайнього положення магніт 10 розмикає нормально замкнені контакти. При цьому електромагнітний клапан 2 перекриває подачу стисненого повітря в надпоршневу порожнину 3 дозатора 4 і з'єднує її з атмосферою. Поршень 5 під впливом пружини 11 повертається у початкове положення, засмоктуючи через зворотній клапан 12 чергову порцію присадки з ємкості 13 і замикає контакти. Система стає у початкове положення і дозатор готовий до видачі чергової порції присадки. На рис. 1.12 наведена схема пристрою для системи змащування ДВЗ [80]. Цей пристрій використовують з метою підвищення ефективності системи змащування шляхом підтримки експлуатаційних показників ЗМ в заданому інтервалі. Це досягається установленням в мастильний бак 1 датчика 2 якості ЗМ з чутливим елементом 3, який через блок керування зв'язаний з насосом 4, на виході якого встановлений зворотній клапан 5. Цей насос розташований на трубопроводі, який з'єднує ємкість 6 для присадки з

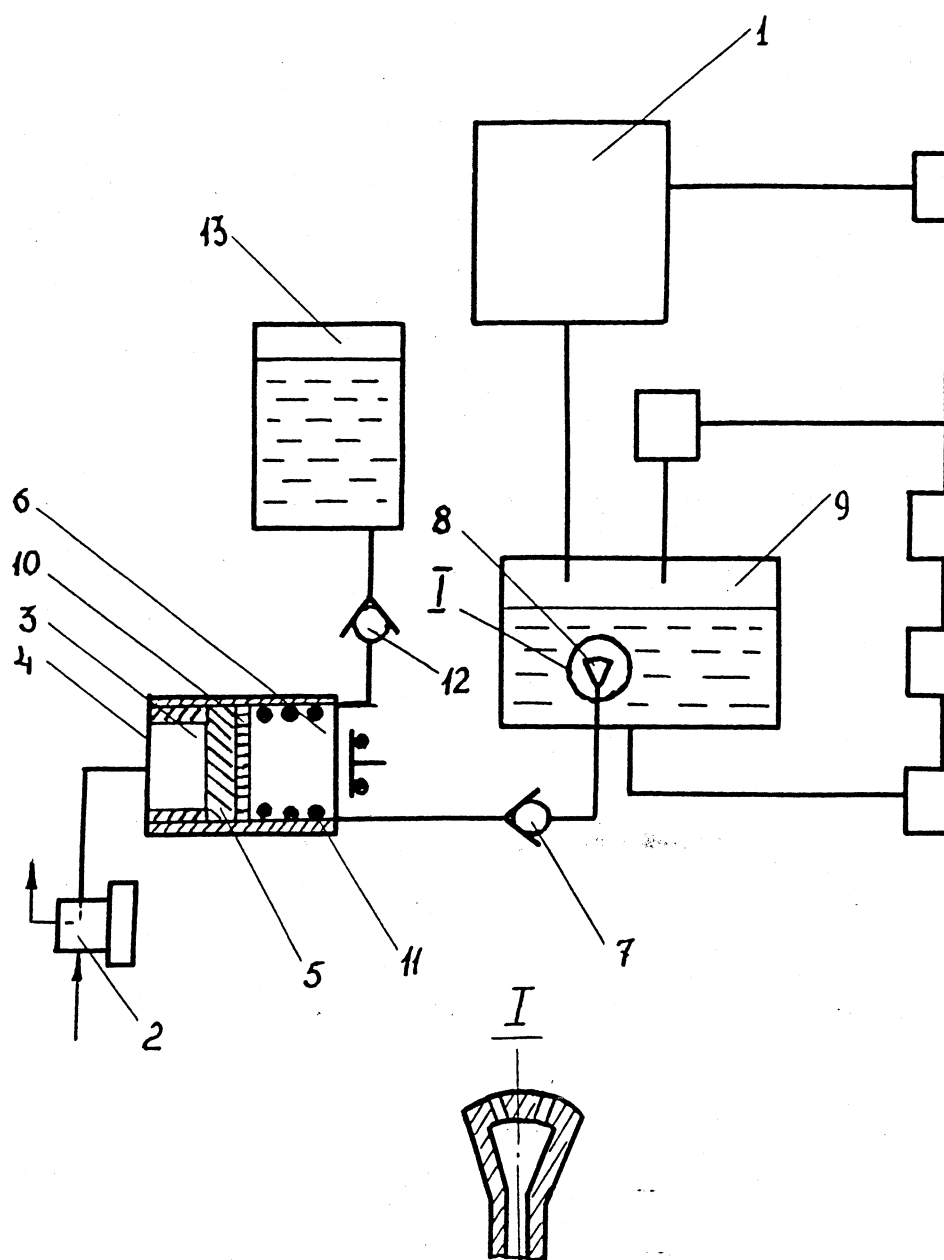


Рис. 1.11 Пристрій для уведення присадки [81]:

1 - генератор ДВЗ; 2 - електромагнітний клапан; 3 - надпоршнева порожнина; 4 - дозатор; 5 - поршень, 6 - порожнина дозатора; 7 - зворотній клапан; 8 - розпилювач; 9 - мастильний бак; 10 - магніт; 11 - пружина; 12 - зворотній клапан; 13 - ємкість з присадкою

*

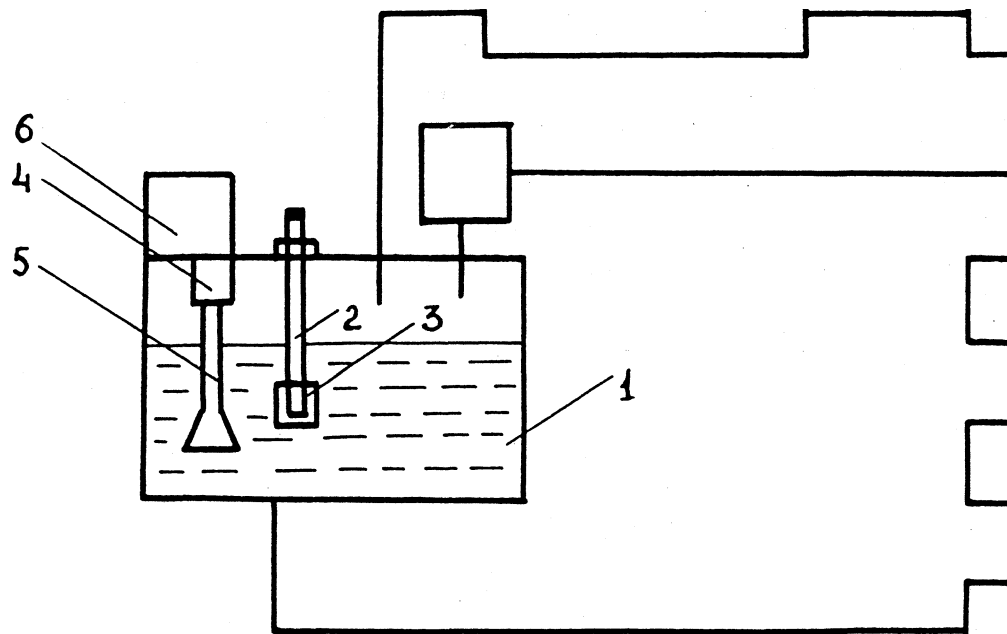


Рис.1.12 Схема пристрою для системи змащування ДВЗ [80]:

1 - мастильний бак; 2 - датчик якості мастила; 3 - чутливий елемент; 4 - насос, 5 - зворотній клапан; 6 - ємкість для присадки

мастильним баком 1. При погіршенні якості ЗМ до визначеної величини вмикається насос 4. Одночасно вмикається реле часу, яке через визначений час вимикає насос 4 і таким чином припиняє подачу присадки.

Схема системи змащування ДВЗ зображена на рис. 1.13 [79]. Ємкiсть 1 заповнюють присадкою. Частина присадки через вхiдний отвір 2 переливається в дозуючий пристрій 3 і заповнює його. Поплавок датчика 4 рiвня пiдiймається в крайнє верхнє положення, його контакти замикаються і електромагнiт 5 пiдключається до блоку 6 живлення. Через деякий час спрацьовує датчик 7 часу і осердя 8 електромагнiта 5 рухається ввєрх. Твердо зв'язаний з осердям 8 зачинний елемент 9 вiдкриває вихiдний отвір 10, а зачинний елемент 11 закриває вхiдний отвір 2 дозуючого пристрою 3. Присадка з дозуючого пристрою 3 через вiдкритий вихiдний отвір 10 і отвір в корпусі електромагнiту 5 потрапляє до мастильного резервуара. При зниженні рiвня присадки в порожнині дозуючого пристрою спрацьовують контакти датчика 4 і осердя 8 починає рухатися вниз, при цьому зачинний елемент 11 вiдкриває вхiдний отвір 2, а зачинний елемент 9 закриває вихiдний отвір 10. Визначена частина присадки через отвір 2 знову потрапляє до дозуючого пристрою і поплавок датчика 4 рiвня пiдiймається ввєрх. Таким чином визначені дози присадки перiодично надходять до системи змащування двигуна і компенсують спрацьовану частину присадки.

Пристрій, який наведено на рис.1.14, призначений для подачі присадки до системи змащування ДВЗ [92]. Пiд час роботи ДВЗ напруга вiд генератора 1 через блок 2 живлення пiдводиться до лiчильника 3 часу роботи ДВЗ. Пiсля заданого часу лiчильник 3 спрацьовує і замикає контакт 4. Спрацьовує соленоїд і шток 5 перемiщується вгору. Клапан 6 вiдчиняє отвір 7 і зачиняє отвір 8. Доки шток утримується сiльфоном у верхньому положенні, присадка виливається з вiдсiку 9 до картера 10 ДВЗ. Потiм шток вертається у початкове положення і нижнiй вiдсiк 9 знову заповнюється \$ присадкою з верхнього вiдсiку 11.

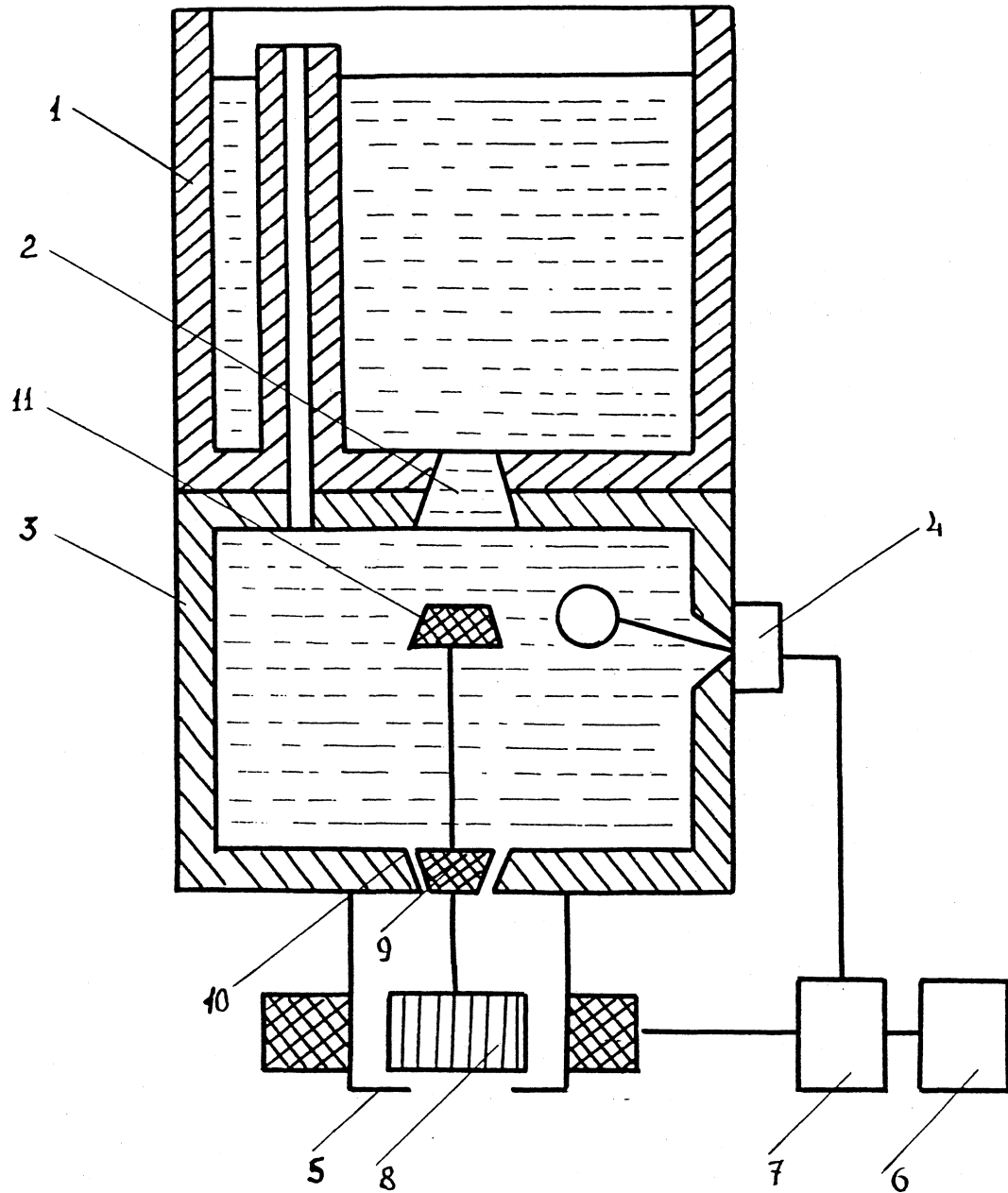


Рис.1.13 Схема системи змащування ДВЗ [79]:

1 - ємкість; 2 - вхідний отвір; 3 - дозуючий пристрій; 4 - поплавков датчика рівня; 5 - електромагніт; 6 - блок живлення; 7 - датчик часу; 8 - осердя; 9 - зачинний елемент; 10 - вихідний отвір; 11 - зачинний елемент

Яі

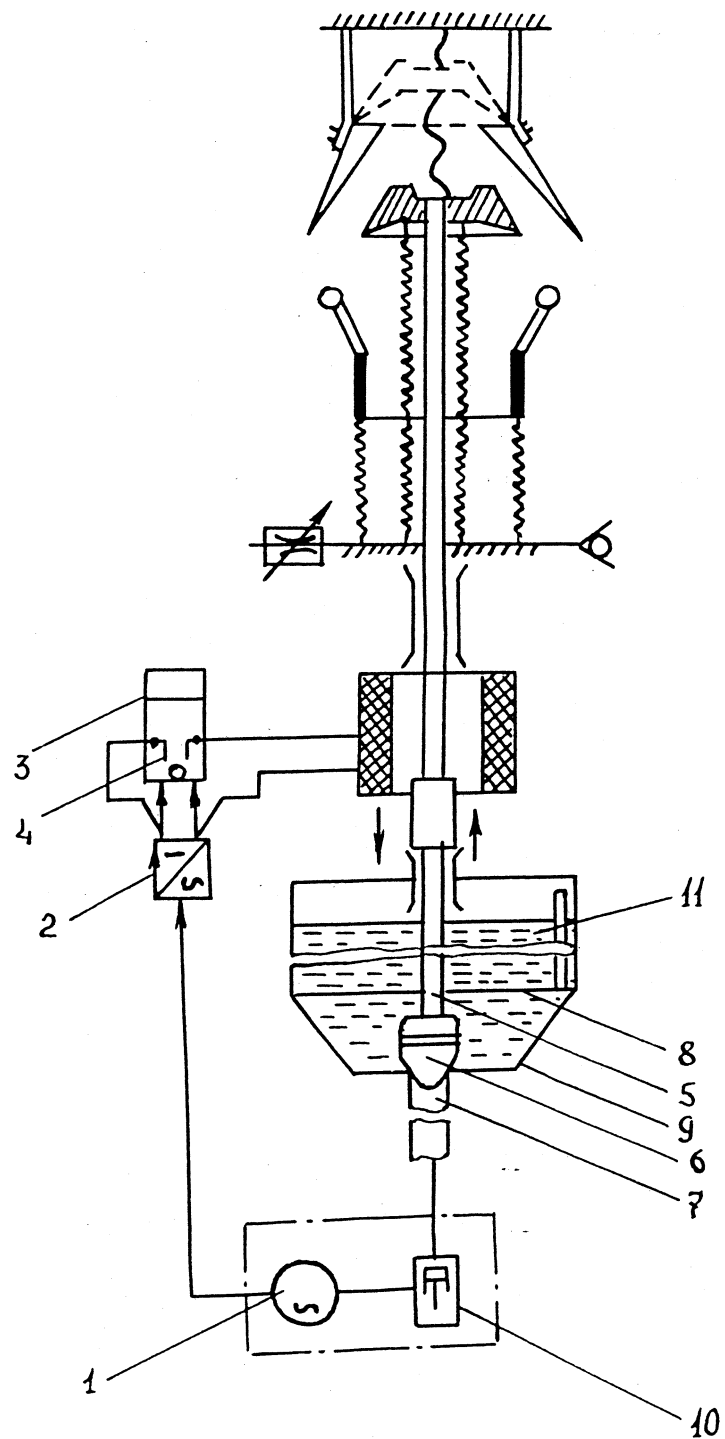


Рис.1.14 Пристрій для подачі присадки до системи змащування ДВЗ [92]:

1 - генератор; 2 - блок живлення; 3 - лічильник часу роботи ДВЗ; 4 - контакт; 5 - шток; 6 - клапан; 7 - отвір; 8 - отвір; 9 - відсік; 10 - картер ДВЗ; 11-відсік

*

Аналізуючи наведені відомості, можна зробити висновок про перспективність дозованого уведення присадок з точки зору зниження зносу за рахунок поліпшення властивостей ЗМ.

Переважна більшість наведених конструкцій, що використовують, дозоване уведення, призначена для систем змащування ДВЗ. Ці пристрої, очевидно, можна використовувати і для інших систем, наприклад, гідроприводів. Але, їх складність (а отже, висока вартість) [79 - 81, 92], у деяких випадках низька ефективність та необхідність застосування дорогого спеціального обладнання і дефіцитних матеріалів [93 - 96], недостатня технологічність не дозволяють вважати пристрої, що пропонуються, перспективними.

Очевидно, що пристрій, призначений для дозованого уведення присадки до ЗМ, повинен бути позбавлений зазначених недоліків, конструктивно та технологічно простим, ефективним і не викликати труднощів щодо розташування його у машинах різного призначення.

Контейнер (рис.1.15), запропонований нами, складається з кришки 1, корпусу 2, в якому розміщується присадка, конусної насадки 3, яка має невеликий отвір 4 капілярного типу, крізь котрий вивільняється присадка. Для з'єднання з атмосферою кришка має повстинний фільтр 5.

Концентрація присадки повинна знаходитися у визначених межах залежно від маси ЗМ у системі змащування машини. Тому корпус контейнера має модульну конструкцію, зроблений розбірним, складові частини його з'єднані різьбою. Це дає можливість регулювати об'єм контейнера відповідно до об'єму присадки, яку потрібно додати до ЗМ.

Запропонований контейнер конструктивно простий, технологічний, для його виготовлення не потребуються дефіцитні і дорогі матеріали, а також спеціальне технологічне обладнання. Модульна конструкція контейнера забезпечує можливість використання його у машинах будь-якого призначення з різними об'ємами ЗМ. *

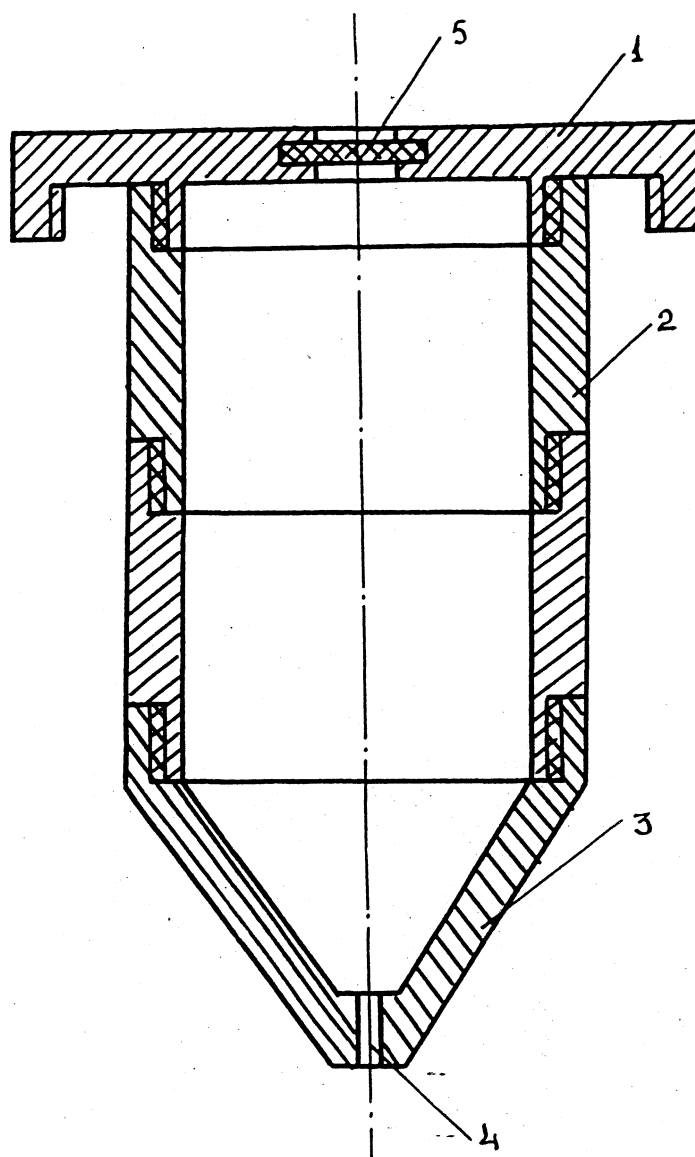


Рис. 1.15 Контейнер для дозованого уведення присадок:

1 - кришка; 2 - корпус; 3 - конусна насадка; 4 - отвір капілярного типу;
5 - повстинний фільтр

Швидкість уведення присадки до ЗМ і, відповідно, кількість присадки залежить від швидкості її спрацьовування. Використовуючи контейнер, дозоване уведення присадки можна проводити двома механізмами: за рахунок дифузії або гідродинаміки. Вибір того або іншого шляху дозованого уведення присадки до ЗМ залежить від необхідної швидкості уведення і впливає на конструкцію контейнеру. Якщо уведення присадки проводиться за рахунок дифузії, то у кришці 1 контейнера відсутній повстинний фільтр 5 і немає отвору. Якщо швидкість дозованого уведення присадки за рахунок дифузії надто мала, то вивільнення присадки можна виконувати за рахунок гідродинаміки.

1.3. Висновки. Мета і задачі досліджень

Проаналізувавши дані, що наведені у підрозділах 1.1 - 1.2, можна зробити наступні висновки.

1. Зносостійкість ПК (особливо при нестационарному режимі роботи) у значній мірі визначається якістю ЗМ, що застосовуються, зокрема, їх протизношувальними властивостями.

2. Протизношувальні властивості ЗМ по мірі їх експлуатації погіршуються, що зумовлено спрацьовуванням протизношувальних присадок. Внаслідок цього збільшується знос поверхонь тертя ПК, а строк служби самих ЗМ обмежується.

3. Поліпшення протизношувальних властивостей ЗМ і підвищення їх строків служби шляхом збільшення початкової концентрації відповідної присадки є економічно не вигідним.

4. Відомі з літератури пристрої дозованого уведення присадок, що призначені для ДВЗ, у більшості випадків достатньо ефективні. Але ці пристрої мають суттєві недоліки (високу вартість, складність конструкції та інше), що обмежує їх застосування.

6. Пропонується спеціальний носій присадок - контейнер модульної конструкції, призначений для вивільнення їх до ЗМ за рахунок двох механізмів: дифузії або гідродинаміки. Вибір механізму вивільнення залежить від потрібної швидкості цього процесу, яка повинна узгоджуватися зі швидкістю спрацьовування присадок у ЗМ реальних машинах. Запропонований контейнер конструктивно простий, технологічний, має відносно невелику вартість і легко влаштовується в систему змащування будь-якої машини.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності роботи машин за рахунок зниження зносу їх ПК шляхом дозованого уведення до ЗМ протизношувальної присадки замість спрацьованої.

На підставі аналізу стану питання, а також враховуючи мету досліджень, в цій роботі потрібно вирішити наступні основні задачі:

теоретично обґрунтувати можливість вивільнення присадки з контейнера та методику розрахунку його параметрів, враховуючи необхідний механізм цього процесу;

теоретично і експериментально встановити можливість та закономірності дозованого уведення присадок за допомогою контейнера, встановити змащувальні властивості ЗМ при дозованому уведенні до них протизношувальної присадки;

розробити та експериментально перевірити математичну модель інтенсивності зношування вузлів тертя ПК при нестационарному режимі і на її основі уточнити механізм дії протизношувальної присадки;

експериментально встановити можливість підвищення зносостійкості машин, в яких використовуються ПК, і строків служби ЗМ при експлуатації їх з контейнером для дозованого уведення протизношувальної присадки;

розробити практичні рекомендації щодо використання контейнера для дозованого уведення присадок до ЗМ.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ

2.1. Теоретичні основи подачі присадки до змащувального мастила

Для дозованого уведення присадок до ЗМ за допомогою запропонованого контейнера потрібно знати початкову і мінімально допустиму концентрацію присадки у ЗМ, закономірності, за якими відбувається спрацьовування присадок, швидкість спрацьовування і дозованого уведення присадок, час спрацьовування, потрібний об'єм присадки, і технічні параметри контейнера.

Процеси, що відбуваються з ЗМ було розглянуто у розділі 1, зокрема, кінетика спрацьовування присадок, яка підпорядковується закономірностям реакції першого порядку [9, 27, 69].

Використовуючи вирази (1.2) і (1.3) та знаючи початкову концентрацію присадки у ЗМ, можна визначити швидкість спрацьовування і, відповідно, швидкість дозованого уведення присадки.

Як відзначалося у розділі 1, дозоване уведення присадки за допомогою контейнера можна проводити двома механізмами: дифузії або гідродинаміки. Визначальним у цьому питанні є швидкість дозованого уведення, тобто кількість присадки, яку необхідно додати до ЗМ за певний час. Вибір того або іншого механізму дозованого уведення впливає на технічні параметри контейнера.

Якщо внаслідок розрахунків або результатів досліджень з'ясується, що потрібно додати невелику кількість присадки протягом тривалого часу, то доцільним буде використання механізму дифузії, згідно з яким кількість присадки, яка про дифундувала, може бути знайдена з закону Фіка [30]:

$$dm = -D \frac{dC}{dX} S dt, \quad (2.1)$$

де m - кількість присадки, яка про дифундувала;

D - коефіцієнт дифузії, який залежить від властивостей часток, що дифундують, і середовища;

dC ..

$\frac{dC}{dX}$ - градієнт концентрації;

S - площа, крізь яку іде дифузія;

t - тривалість дифузії.

Якщо швидкість потрапляння присадки до ЗМ за допомогою дифузії мала, то дозоване уведення можна проводити за рахунок гідродинаміки. Тоді кількість Q присадки, що вивільниться крізь капіляр контейнера, можна визначити з рівняння Пуазейля [30]:

$$e = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta l} \quad \text{тм}$$

де π - кількість капілярів;

Δp - перепад тиску на обох кінцях капіляра;

r - радіус капіляра;

t - час вивільнення присадки;

η - динамічна в'язкість присадки;

l - довжина капіляра.

Слід очікувати, що використання одного з двох механізмів, (в залежності від необхідної швидкості), дозволить дозовано додавати до ЗМ присадку крізь капіляр контейнера.

2.2. Математична модель інтенсивності зношування поверхонь тертя підшипників ковзання

Відомо, що в процесі роботи формуються структура і властивості поверхневих шарів, які забезпечують мінімізацію сил тертя і швидкості зношування. На підставі розглянутих загальних закономірностей Б.І.Костецьким [48, 50, 51] була побудована теорія структурно-енергетичної адаптації (структурного пристосовування) поверхонь тертя при механічних і термохімічних процесах.

Згідно з цією теорією, для всіх матеріалів та умов середовища існує визначений діапазон навантажень і швидкостей переміщення, при яких відбувається нормальне протікання механіко-хімічного зношування.

При цьому структура поверхневих шарів набуває найбільшу для даних умов міцність проти фізико-хімічного впливу. Такі структури Б.І.Костецький назвав вторинними.

Коли структура і властивості поверхневих шарів стають оптимальними, сили тертя і зношування квазістабілізуються, що характеризується мінімальними значеннями температури і швидкості зношування. В цьому випадку поверхні тертя адаптовані до умов тертя, тобто в максимальній степені наближені до стаціонарного стану.

Відомо також, що в реальній структурі кристалів завжди мають місце дефекти решітки, до яких належать дислокації. Особливостями їх структури, числом, закономірностями переміщення визначаються такі важливі характеристики металів, як пластичність, твердість і зносостійкість. Внаслідок дислокаційних процесів утворюються особливі структури поверхонь, які теж можна віднести до розряду вторинних. Велике значення при цьому має мастильне середовище, яке контактує з металевою поверхнею.

ПАР, які виникають у ЗМ при окисленні полегшують вихід дислокацій на поверхню тіла, що приводить до пластифікування, а отже, до зміцнення поверхневих шарів, підвищення межі текучості та опору до зношування.

Для отримання математичної моделі, яка б пов'язувала знос пари тертя “вал-підшипник” при нестационарному режимі роботи з поверхневою щільністю дислокацій, скористаємося відомою теоремою І.Пригожина про наближення термодинамічної системи до стаціонарного стану, при якому виробництво ентропії прямує до мінімального значення. При цьому будемо припускати, що пара тертя “вал-підшипник”- це динамічна дисипативна система, в якій реалізується деградація енергії макромеханічного руху, тобто виробляється ентропія.

Спочатку за допомогою теореми І.Пригожина отримаємо вираз для величини рівновагової тангенційної напруги , яка зумовлена силою тертя.

Визначимо з урахуванням вкладу дислокацій об'ємне виробництво ентропії для елемента об'єма dV , що містить поверхню тертя, яка межує з середовищем, тобто ЗМ. Об'ємне виробництво ентропії $p_s = ds / dV$, що зумовлено дислокаціями, визначається співвідношенням [60]:

$$= \quad (2.3)$$

де σ - тензор напружень;

$E\dot{\epsilon}$ - швидкість пластичних деформацій;

T - температура.

Обмежуючись режимом пластичного контакту при нестационарному режимі роботи і враховуючи, що швидкість пластичної деформації*

площині ковзання згідно з даними роботи [98], $\dot{E} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{p}_d \cdot \mathbf{u}_d$ /отримаємо наступний вираз для виробництва ентропії, обумовлений дислокаціями:

де σ_{Tj} - компонента тензору напруження, яка зумовлена питомою силою тертя;

b - абсолютна величина вектора Бюргерса;

c_t - швидкість звуку;

k - стала Больцмана;

T - температура.

На підставі даних, наданих у роботі [19], можна показати, що вклад у виробництво ентропії сил тертя враховується членом

$$\sigma_{Tj} \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{K} \cdot \text{grad } n \quad (2-5)$$

де \mathbf{v} - вектор швидкості переміщення поверхонь трибовузла;

\mathbf{K} - одиничний вектор;

n - об'ємна концентрація часток зносу в трибовузлі.

Тоді повне виробництво ентропії буде мати дві складові частини, що залежать від та визначаються виразами (2.3) і (2.5) з урахуванням виразу

(2.4):

$$\frac{1}{3kT^2} \text{grad } n \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{X}_I \quad (2.6)$$

де ρ_d - щільність дислокацій у приповерхневій зоні;

J_t - термодинамічний потік;

- термодинамічна сила.

Остання складова частина у цьому виразі містить потоки і термодинамічні сили, що не залежать від a_t .

Оскільки згідно з теоремою І.Пригожина повне виробництво ентропії у стаціонарному стані, коли інтенсивність зношування та сили тертя постійні, прямує до мінімуму, то умовний екстремум по має вигляд dp_s/dcr_t , звідки, згідно з даними роботи [98], впливає наступний вираз для що відповідає стаціонарному стану:

(2.7)

Виразимо концентрацію p через характеристики поверхонь тертя ПК.

Якщо внаслідок зношування руйнується об'єм V_0 тоді утворюються частки зносу, що характеризуються середнім об'ємом V_0 . Кількість цих часток та їх концентрація в об'ємі вузла тертя "вал-підшипник" U_t визначаються співвідношеннями:

$$\frac{U_t}{V_0} = \frac{U_0 U_{m2}}{V_0 U_{m2}} \quad (2.8)$$

Якщо площа перетину вузла тертя "вал-підшипник" Q , товщина зношеного шару δ_n , а середній зазор між підшипником та валом H (рис.2.1), то:

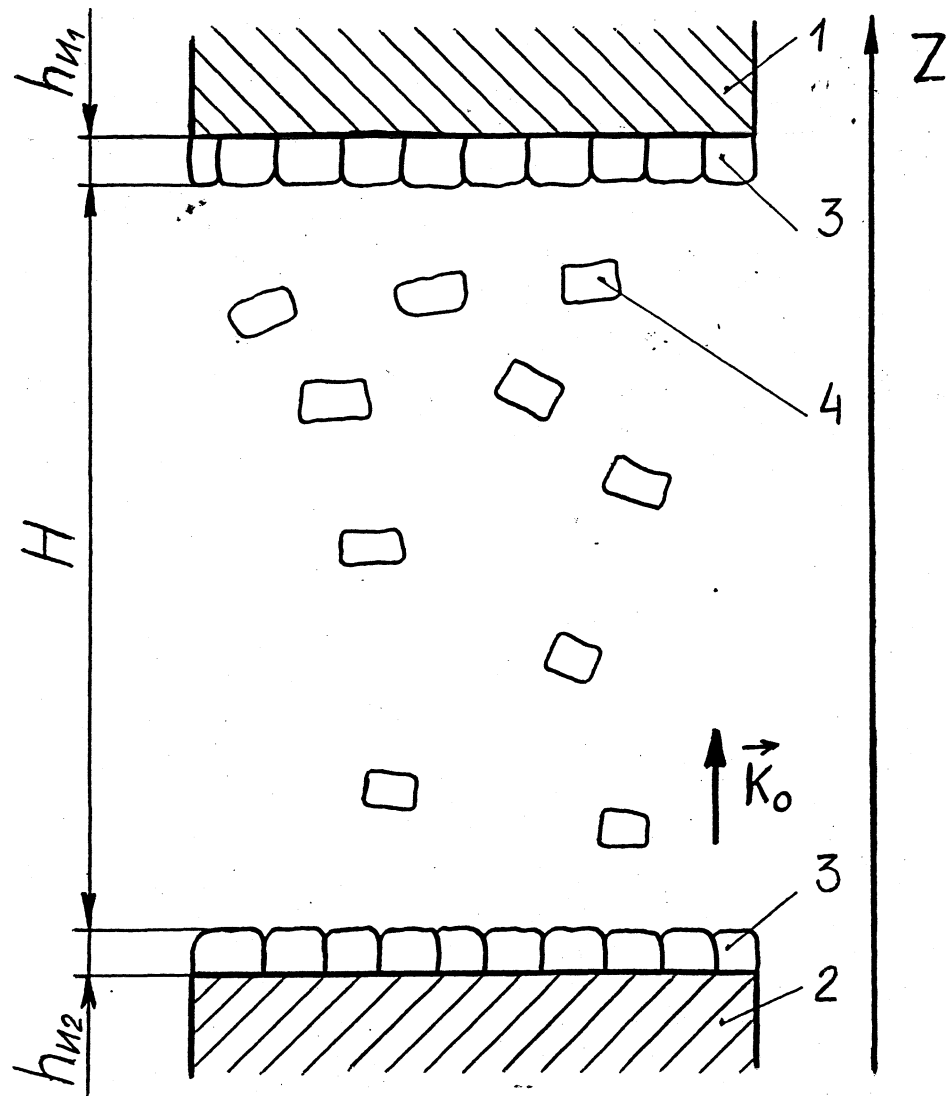


Рис.2.1 Схема вузла тертя “вал-підшипник”:

1 - вал; 2 - підшипник; 3 - шар, що зазнає зношування; 4 - частки, що відділилися

$$\frac{Im}{V} \frac{h}{V} \quad (2.9)$$

Пов'яжемо товщину зношеного шару B_n з переміщенням поверхонь підшипника та вала J_1 , використовуючи величину лінійного зношування $I_h = - J_{h_n} / L$. Нехай за проміжок часу T_0 частка зносу середніх розмірів перемістилась вздовж осі Z на величину середнього зазору H . За цей же час вона переміститься вздовж поверхні тертя на відстань $L = v \cdot t_0$. Тоді $h_n = I \cdot v \cdot T_0$ і рівновага концентрація, яка встановлюється за час формування вузла тертя "вал-підшипник" T_0 :

$$U_0 H \quad (2-Ю)$$

де I - інтенсивність зношування;

V - швидкість переміщення поверхонь тертя.

Підставляючи співвідношення (2.10) до (2.7), отримаємо:

$$\frac{3V_0 H^{\text{rad}} n \backslash kT}{20b^4 p_A T_0 C_t} \quad (2.П)$$

Перетворимо вираз (2.11) таким чином. Якщо повна концентрація усіх часток на поверхні тертя дорівнює n_0 , а в деякому місці $z' = a H$ ($a < 1$), вона внаслідок зменшення досягає значення $n_{mjn} \ll n_0$. Тоді, вважаючи, що

$$\frac{grad n}{n} = \text{const}, \text{ маємо;}$$

$$\ddot{u}_0 \quad -n \gg n_n \approx \int_0^{aH} \frac{\partial n}{\partial Z} dZ \quad \frac{\partial n}{\partial Z} \Big|_0 = \frac{aH}{a} \left| \frac{dn}{dZ} \right|_0 \quad (2-12)$$

Тоді, замінюючи у виразі (2.11) $\left| \frac{dn}{dZ} \right|_0$ та враховуючи, що

$C_t = ijG I p$ остаточно отримаємо:

$$\Delta \cdot \frac{—}{T} \sim 20ab^4 p \delta l m_0 V G \frac{iP}{—} \quad (2-13)$$

де P - щільність;

G - модуль зсуву.

З отриманого виразу випливає, що рівновагова тангенційна напруга пропорційна середньому об'єму v_0 часток зносу та повній концентрації часток на поверхні тертя і обернено пропорційна поверхневій щільності дислокацій на поверхні тертя.

Оскільки вираз (2.13) справедливий для усієї ділянки пластичної деформації, то він повинен бути справедливим і для випадку, коли тангенційна напруга дорівнює межі текучості σ_T . Скориставшись тим, що σ_T і твердість пов'язані співвідношенням $HV = 3 \sigma_T$ нарешті отримаємо таку математичну модель інтенсивності зношування поверхні тертя ПК:

$$\frac{Y_0 n_0 k T}{20 ab^4 p \delta l m_0 HV} \sqrt{\frac{\rho}{G}} \approx$$

$$\frac{Y_0 n_0 k T}{2 ab^4 p \delta l m_0 HV N G} [pG] \quad (2.14)$$

Яі

де V_0 , ρ_0 - відповідно, середній об'єм та об'ємна концентрація часток зносу у вузлі тертя “вал-підшипник”;

k - стала Больцмана;

T - температура;

a - коефіцієнт пропорційності;

b - абсолютна величина вектора Бюргерса;

ρ_d - щільність дислокацій у приповерхневій зоні;

T_0 - інтервал часу;

ρ - щільність;

HV - твердість поверхні;

G - модуль зсуву матеріалу поверхні.

З виразу (2.14) виходить, що крім інших факторів величина інтенсивності зношування вузла “вал-підшипник” при нестационарному режимі обернено пропорційна поверхній щільності дислокацій.

Отримана математична модель справедлива, очевидно, не тільки на час роботи ПК при нестационарних режимах, але і для інших деталей машин, які виконують обертальний або обертально-поступовий рух, а експериментальне підтвердження справедливості моделі дозволить пояснити причину підвищення зносостійкості поверхонь тертя при їх контакті з протизношувальними присадками.

2.3. Висновки

1. Дозоване уведення присадки може проводитися крізь капіляр контейнера двома механізмами: дифузії або гідродинаміки. Вибір механізму вивільнення залежить від необхідної швидкості дозованого уведення, яка у свою чергу, залежить від швидкості спрацьовування присадки у ЗМ.

Зробивши підбір параметрів капіляра контейнера, можна забезпечити потрібну швидкість вивільнення присадки за допомогою того або іншого механізму.

2. Згідно з отриманою математичною моделлю інтенсивність зношування ПК та інших деталей машин залежить від цілого ряду їх характеристик, зокрема, від поверхневої щільності дислокацій.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Зносостійкість підшипників ковзання при забезпеченні стабілізації протизношувальних властивостей змащувальних мастил

Під час проведення лабораторних досліджень використовувалась протизношувальна присадка ДФ-11 (діалкілдітіофосфат цинку), яка найбільш часто застосовується для легування ЗМ.

З метою встановлення мінімально допустимої концентрації присадки ДФ-11 в ЗМ, а також впливу дозованого уведення на зносостійкість поверхонь тертя, було проведено лабораторні випробування на машинах тертя СМТ-1 (рис.3.1) і СМЦ-2 (рис.3.2). На машині тертя СМТ-1 застосовувалась чотирьохшарикова схема випробувань (рис.3.3 а), яка забезпечувала контакт зразків у точці. Така схема імітує роботу ПК при нестационарних режимах, коли мікроступи валу і підшипника контактують на дуже обмеженій площі фактичного контакту. Як зношувальні елементи використовувалися шарики діаметром 12,7 мм, виготовлені зі сталі ШХ-15.

Режим випробувань був такий: навантаження на шарики - 480,5 Н, частота обертів шарика - 25 с⁻¹, тривалість випробування - 15 хв. Після випробувань визначався діаметр плями зносу на шариках за допомогою мікроскопа МЕТАМ Р-1.

Для змащування вузла тертя застосовувались ЗМ, характеристики яких наведено в табл.3.1, а також ці ж самі ЗМ, але з доданою до них присадкою ДФ-11 з концентрацією від 0,2 до 1,5% від об'єму ЗМ. Повторність випробувань на кожному ЗМ дорівнювала чотирьом, що дозволило отримати відносну похибку не більшу ніж 0,25 при надійній ймовірності 0,9 [74].

*

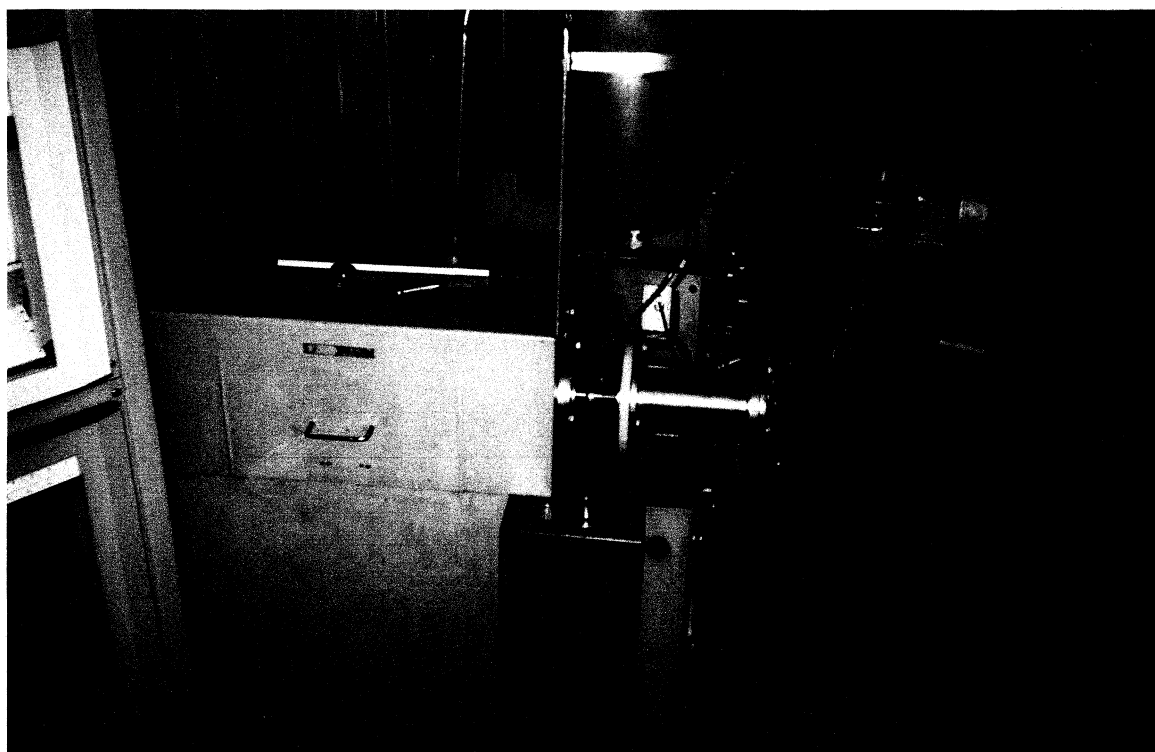
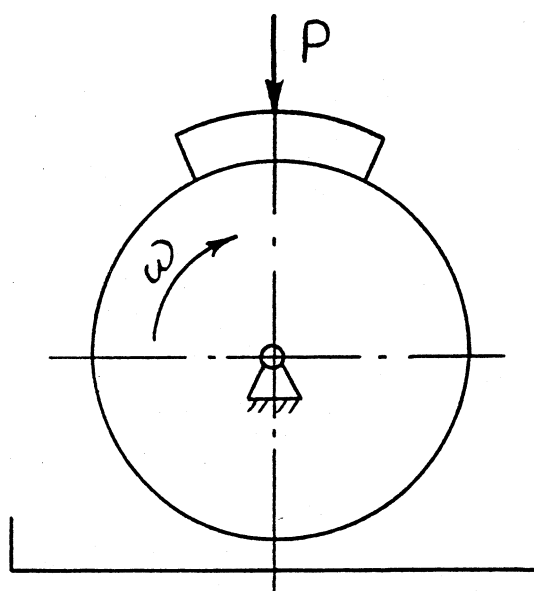
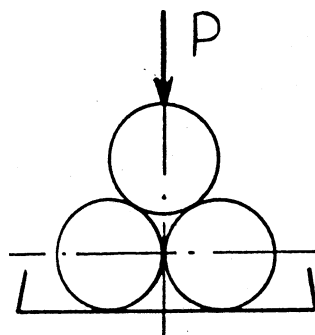


Рис.3.1 Машина тертя СМТ-1



Рис.3.2 Машина тертя СМЦ-2



б)

Рис.3.3 Схеми випробувань на машинах тертя:

а) СМТ-1; б) СМЦ-2

Таблиця 3.1

Характеристики ЗМ, що застосовувались під час випробувань
на машинах тертя

Марка ЗМ	Стан ЗМ	Місце відбору ЗМ
I-Г-А-32	свіже (без присадки)	-
МГ-46-В	працювало 200 годин (наявність присадки ДФ-11 -0,24%)	гідропривод преса мо- делі ДБ2432
I-Г-С-32	працювало біля 2000 годин (наявність при- садки ДФ-11 - 0%)	гідропривод верстата моделі ЗА229

При цьому за істинне значення діаметра плями зносу приймали середнє арифметичне:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3.1)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n - результати окремих визначень;

n - число визначень.

Середнє квадратичне відхилення окремих вимірювань визначали з виразу:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

Середньоквадратичне відхилення середнього:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (3.3)$$

Кінцевий результат:

$$x = x \pm Ax, \quad (3.4)$$

де Ax - межа надійного інтервалу, який визначається таким чином:

$$Ax = t_a \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (3.5)$$

де t_a - параметр розподілення Стюдента при надійній ймовірності α .

Коефіцієнт варіації визначали з виразу:

$$V = \frac{S}{x}. \quad (3.6)$$

Відносна похибка результату:

$$CV = \pm \frac{Ax}{x}. \quad (3.7)$$

Оцінка істотності різниці двох середніх величин виводилась через середньоквадратичні відхилення та критерій достовірності t_d :

$$t_d = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_2}}} \quad (3.8)$$

Різниця між x_1 та x_2 визнається суттєвою, якщо $t_d > t_a$ при надійній ймовірності 0,9.

Результати випробувань на машині тертя СМТ-1 наведені на рис.3.4 та в додатку А.

Як видно з графіків, по мірі збільшення концентрації присадки діаметр плями зносу зменшується. Особливо чітко це видно при застосуванні ЗМ І-Г-С-32 та І-Г-А-32. Це зумовлено тим, що в цих ЗМ до початку випробувань наявність присадки дорівнювала нулю (в І-Г-С-32 за 2000 годин роботи у гідроприводі присадка ДФ-11 спрацювалася повністю, а до свіжого ЗМ І-Г-А-32 під час наробки зовсім не додавали ніяких присадок).

Незначне зменшення діаметру плями зносу на шариках по мірі збільшення концентрації присадки в ЗМ МГ-46-В пояснюється тим, що це ЗМ проробило у гідроприводі усього біля 200 годин і до початку випробувань містило 0,24% присадки ДФ-11.

Звертає увагу той факт, що збільшення концентрації присадки більше 0,4% значно не поліпшує протизношувальні властивості ЗМ, які випробовувались. Це дає підставу вважати, що саме 0,4% є мінімально допустимою концентрацією присадки ДФ-11 у ЗМ. Подальше зниження концентрації приводить до суттєвого збільшення діаметру плями зносу.

Порівняльні випробування на машині тертя СМЦ-2 проводились за схемою «колодка-ролик» (рис.3.26), яка імітує умови роботи ПК при напіврідинному змащуванні. Характеристики зразків та режими їх хіміко-термічної та термічної обробки наведено у табл.3.2.

Діаметр роликів складав 50 мм, ширина - 12 мм, ширина колодки - 10 мм, частота обертів ролика - 5 с⁻¹. Змащування зразків проводилося занурюванням їх на глибину 8 - 10 мм у ЗМ, що знаходилося у ванночці.

Режими випробувань були такими: приробка зразків без навантаження - 15 хв; приробка з навантаженням 300 Н - 2 години; самі випробування при навантаженні 600 Н - 4 години.

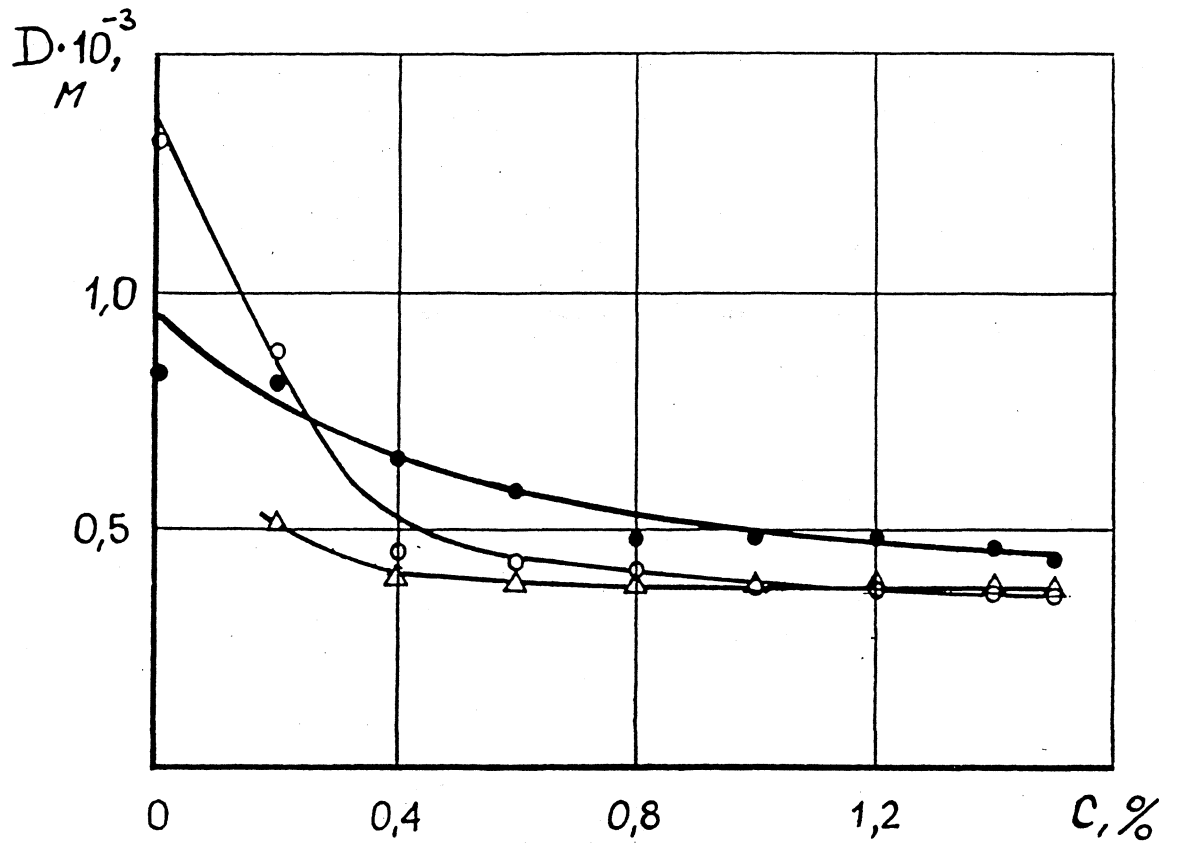


Рис.3.4 Залежність діаметра плями зносу на шариках від концентрації присадки ДФ-11 в ЗМ:

-o-o-o- I-Г-A-32;

-Д-Д-Д- МГ-46-B;

· I-Г-C-32

Таблиця 3.2

Характеристики зразків тертя (до початку випробувань) та
режими їх хіміко-термічної та термічної обробки

Матеріал	Поперед- ня обробка	Режим кінцевої обробки		відпу- щення	Твердість		Ra, мкм
		загартування			HRC3	HRB	
		К	середо- вище				
1	2	3	4	5	6	7	8
Сталь 18ХГТ	цемен- тація на глибину 0,8-1,5мм	1113	мастило	473	58...60		0,30- 0,32
Сталь ШХ15	-	ПОЗ	мастило	423	60...62	-	0,32- 0,38
Сталь 38ХГС	-	1153	мастило	873	56...58	-	0,60- 0,63
Чавун ВЧ	-	-	-	-	-	240	0,31- 0,38
Бронза БрАЖ9-4	-	-	-	-	-	96-98	0,60- 0,63

Примітка. Вибір для випробувань вказаних матеріалів зумовлений найбільш частим застосуванням їх в ПК.

В процесі випробувань фіксувався момент сил тертя (за допомогою потенціометра ПРС-1, який входить до комплекту машини) та температура ЗМ (за допомогою терморпари, що містилась у ванночці на глибині 5 мм від

*

рівня ЗМ). Знос зразків визначався шляхом установлення втрати ними маси за час випробувань. Зважування зразків проводилося аналітичними вагами ВЛА-200г-М з точністю $\pm 0,0001$ г з доведенням зразків до постійної маси.

Застосовувались ЗМ: працювало І-Г-А-32; працювало І-Г-А-32 з доданою присадкою ДФ-11, і ті, марки та характеристики яких наведено у табл.3.1, а також ці ж самі ЗМ, але з доданою до них присадкою ДФ-11 у концентрації 0,4% (від об'єму ЗМ).

Випробування на кожному ЗМ при кожному сполученні матеріалів зразків проводились по 4 рази, що забезпечило величину відносної похибки не більше ніж 0,25 при надійній ймовірності 0,9.

Результати порівняльних випробувань на машині тертя СМЦ-2 наведено на рис.3.5 - 3.6 та у додатку А.

Як видно з наведених даних, уведення до всіх ЗМ присадки ДФ-11 значно знижує коефіцієнти тертя та підвищує зносостійкість зразків. Так, наприклад, при застосуванні ЗМ І-Г-С-32 коефіцієнт тертя знижується в середньому у 1,23 рази, а зносостійкість підвищується в середньому у 1,17 рази (матеріал колодки - бронза БрАЖ9-4, ролика - сталь 18ХГТ). Ще більш суттєвіша різниця у значеннях коефіцієнта тертя та зносостійкості при використанні ЗМ І-Г-А-32, (відповідно в 1,83 рази та в 2,94 рази).

Такий результат пояснюється тим, що в це ЗМ при нароботі зовсім не уводиться присадка.

Аналогічні результати мають місце при інших поєднаннях матеріалів пар тертя. В середньому знос усіх зразків при роботі їх з ЗМ, що містять присадку ДФ-11 знизився в 1,52 рази, а коефіцієнт тертя - в 1,36 рази.

Таким чином, уведення присадки ДФ-11 сприяє підвищенню зносостійкості зразків та зниженню коефіцієнта тертя.

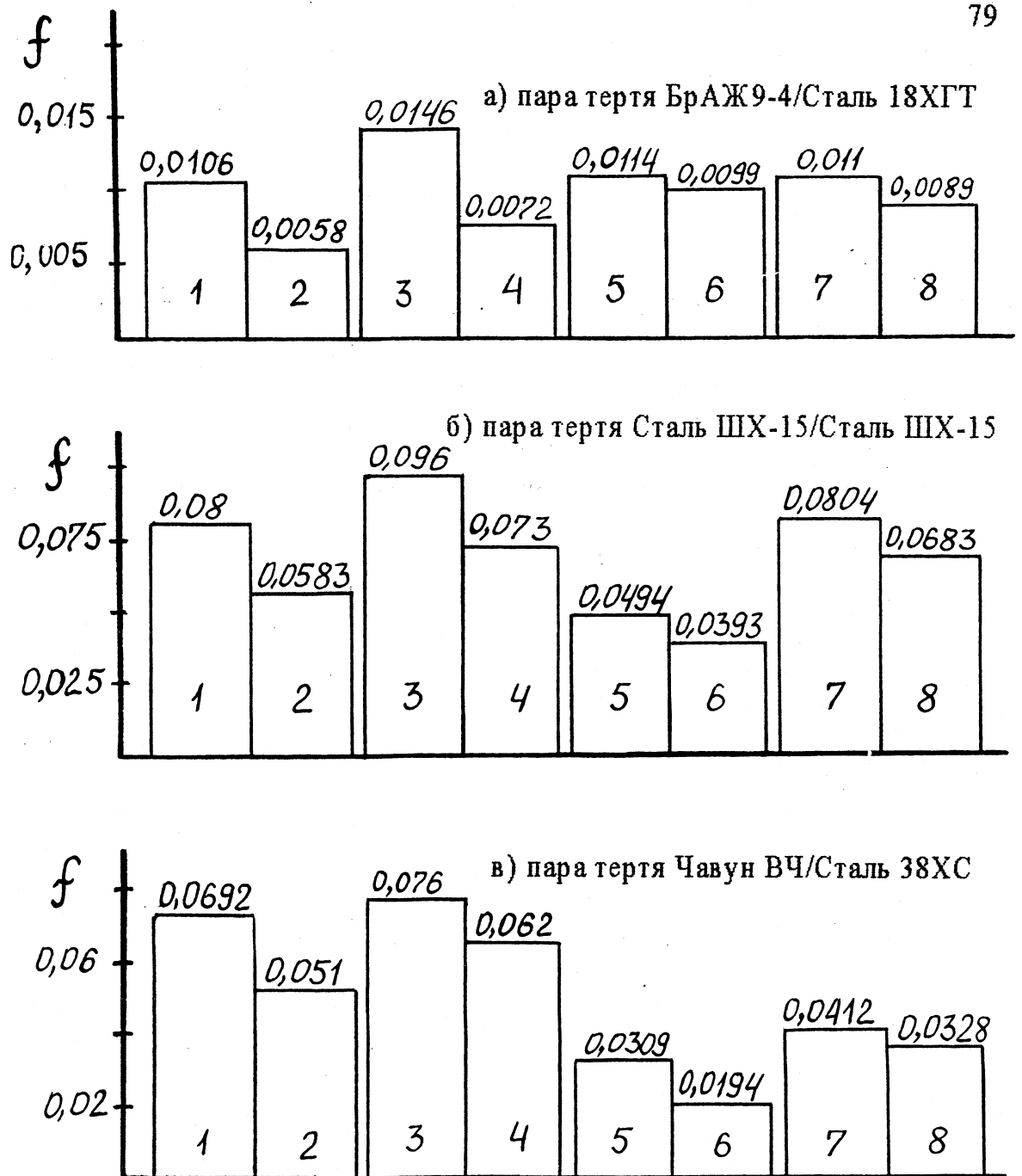


Рис.3.5. Коефіцієнти тертя (f) при випробуваннях на машині СМЦ-2

(наприкінці випробування):

1 - свіже ЗМ І-Г-А-32; 2 - свіже ЗМ І-Г-А-32 з доданою присадкою ДФ-11; 3 - ЗМ, що працювало, І-Г-А-32; 4 - ЗМ, що працювало, І-Г-А-32 з доданою присадкою ДФ-11; 5 ЗМ, що працювало, МГ-46-В; 6 - ЗМ, що працювало, МГ-46-В з доданою присадкою ДФ-11; 7 - ЗМ, що працювало, І-Г-С-32; 8 - ЗМ, що працювало, І-Г-С-32 з доданою присадкою*ДФ-11

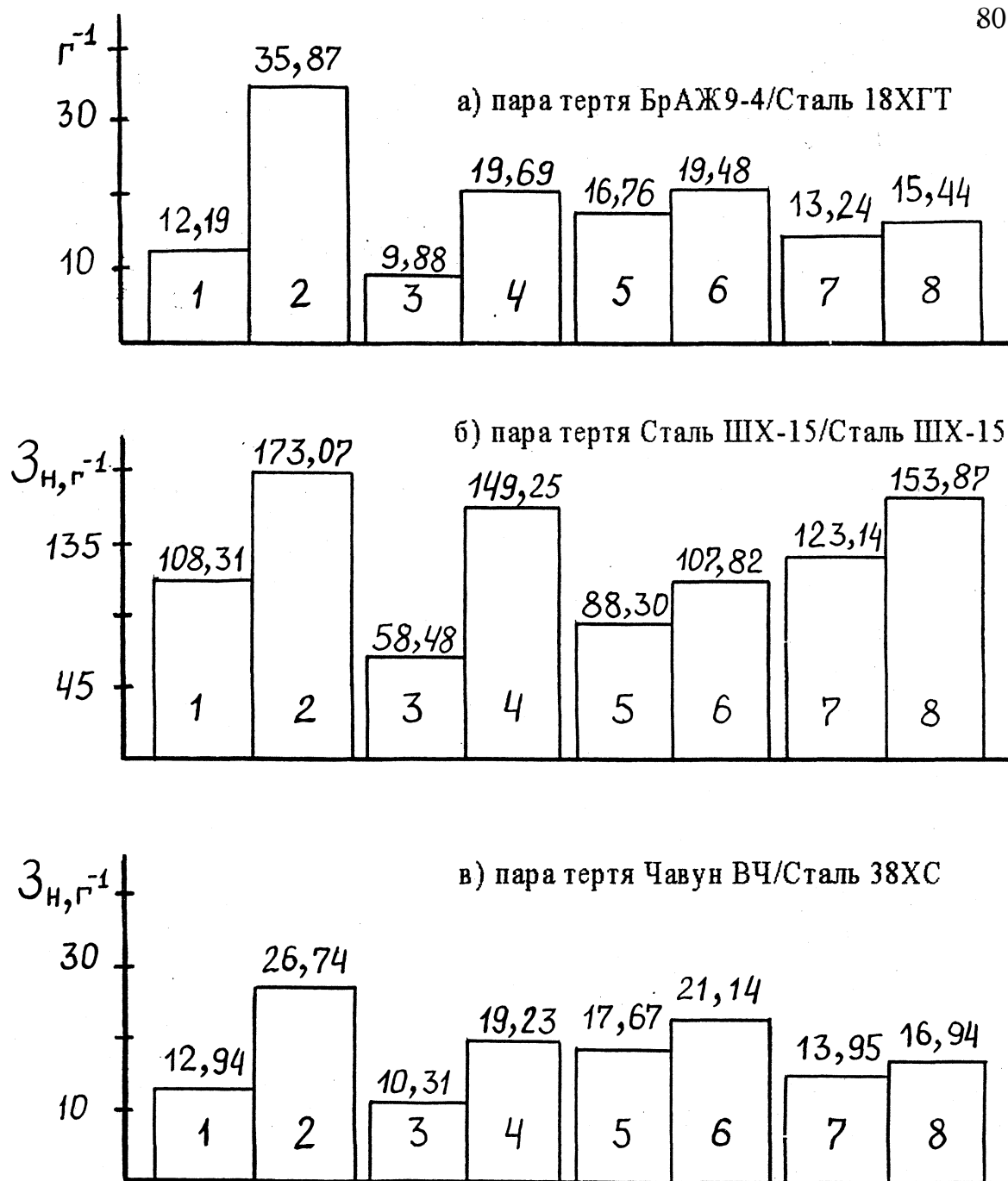


Рис.3.6 Зносостійкість (Z_n) зразків при випробуваннях на машині тертя СМЦ-2:

1 - свіже ЗМ І-Г-А-32; 2 - свіже ЗМ І-Г-А-32 з доданою присадкою ДФ-11; 3 - ЗМ, що працювало, І-Г-А-32; 4 - ЗМ, що працювало, І-Г-А-32 з доданою присадкою ДФ-11; 5 - ЗМ, що працювало, МГ-46-В; 6 - ЗМ, що працювало, МГ-46-В з доданою присадкою ДФ-11; 7 - ЗМ, що працювало, І-Г-С-32; 8 - ЗМ, що працювало, І-Г-С-32 з доданою присадкою ДФ-11 *

3.2. Дослідження стану приповерхневих шарів тертя

Стан приповерхневих шарів тертя сталевих роликів, що використовувались у зносних випробуваннях на машині тертя СМЦ-2, досліджувався стандартними методами рентгеноструктурного та металографічного аналізів.

Після закінчення випробувань і встановлення зносу у сталевих зразках зі сталей ПХ-15, 18ХГТ, які працювали у середовищі ЗМ визначались ОКР та поверхнева щільність дислокацій ρ_d приповерхневого шару ролика, а також його мікротвердість.

Для рентгеноструктурного аналізу використовувався дифрактометр ДРОН-3, режим роботи якого та ширина щілин вибиралися з умови отримання достатньої інтенсивності ліній при малій інструментальній ширині. Розподіл ефектів блочності та мікрODEформації проводився за лініями (110) (щілини 0,25 : 0,25) і (220) (щілини 0,1 : 0,1). Відображення (110) і (220) реєструвалися по точках (з часом накопичення заданої кількості імпульсів) у великому інтервалі вимірювання кутів (від 53 до 62° та від 136 до 153° відповідно) для ретельного виявлення "хвостів". Рентгенозйомки проводились у випромінюванні залізного анода. Вимірювання площі під кривими здійснювалося за допомогою планіметра, при цьому вимірювання повторювалися декілька раз. Еталоном для обліку інструментального ефекту був спресований порошок заліза, відпалений у вакуумі при температурі 723 К протягом 40 хвилин. Під час проведення рентгеноструктурного аналізу користувалися інтегральною шириною лінії, що дорівнювала частці від ділення інтегральної інтенсивності (площі, яка обмежена профілем лінії та фоном) на максимальну висоту профілю.

Визначення мікротвердості поверхонь тертя виконувалось за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні 1 Н. Відстань між доріжками

*

складала 2,5 мм, на кожній доріжці вимірювання повторювалося декілька разів з інтервалом 0,5 мм.

Результати проведених випробувань наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Результати зносних випробувань та характеристика
приповерхневого шару ролика

Стан ЗМ І-Г-А-32	Знос ролика, г	Тем пер ату- ра ЗМ наприкінці випробу- вань, К	Показник поверхні тертя			
			роз- мір ОКР, $\frac{O}{A}$	щільність дислока- цій, $\rho_d \cdot 10^{-11}$, см^2	мікро- твер- дість,	шорст- кість, Ra, МКМ
Матеріали: ролика - Сталь ШХ 15, колодки - Сталь ШХ 15						
-	-	-	460*	1,42*	815*	0,32-0,38*
свіже	0,0052	358	448	1,56	836	0,25-0,28
свіже + ДФ-11	0,0033	356	435	2,7	898	0,2-0,25
працювало	0,0090	362	450	1,58	780	0,12-0,16
працювало + ДФ - 11	0,0038	353	406	2,42	852	0,08-0,1
Матеріали: ролика - Сталь 18ХГТ, колодки - бронза БрАЖ 9-4						
-	-	-	555*	1,0*	687*	0,30-0,32*
свіже	0,0059	345	542	1,7	802	0,25-0,30
свіже + ДФ-11	0,0024	341	534	2,81	814	0,2-0,25
працювало	0,0078	352	560	1,4	748	0,2-0,25
працювало + ДФ -11	0,0041	339	526	2,34	785	0,1-0,125

Примітки:

1. Значення, що позначені відносяться до поверхонь тертя у початковому стані (до зношування).

2. Наведено середні значення зносів за результатами чотирьох випробувань наЗМ в кожному стані.

Визначення шорсткості поверхонь тертя після випробувань проводилось за допомогою профілографа-профілометра моделі 201.

Як впливає з наведених у табл. 3.3 даних, уведення протизносної присадки ДФ-11 знижує розмір ОКР та збільшує щільність дислокацій у приповерхневій зоні тертя роликів (у середньому в 1,64 рази), що працювали в ЗМ, до яких штучно була уведена присадка ДФ-11, а також зменшує шорсткість. Така зміна показників поверхонь тертя приводить до їх зміцнення (див. дані з мікротвердості), тобто збільшення зносостійкості. Отримані результати якісно відповідають математичній моделі інтенсивності зношування (розділ 2). Для кількісного порівняння теоретичних та експериментальних даних прийmemo до уваги, що усі параметри за виключенням r_d і T однакові для тих самих марок сталей.

Тоді (2.14) матиме вигляд:

$$l = \frac{AP\partial T}{\rho}$$

де

$$4 = \frac{\nu \sigma^n J'_{[P]}}{2aB^4 m H V X G} \quad \text{---} \quad (3.9)$$

Тоді можна записати:

const .

$$\frac{Q' P \partial O}{T_o} = \frac{K * P \partial n}{m_n} = \frac{\quad}{T_n}$$

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

Результати розрахунків за рівнянням (3.10) наведено у табл. 3.4, з якої видно, що чисельні значення лівої та правої частин рівняння для однакових матеріалів пар тертя досить близькі один до одного: в середньому, розбіжність складає біля 30 %.

Таблиця 3.4

Результати розрахунків зарівнянням (3.10)

Стан ЗМ І-Г-А-32	свіже	працювало	свіже	працювало
Матеріал: колодки	Сталь ШХ15	Сталь ШХ15	БрАЖ 9-4	БрАЖ 9-4
ролика	Сталь ШХ 15	Сталь ШХ15	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ
$\frac{\rho_{до} \cdot JQ-27}{T}$ ρ_0 г/см ² К	22,8	39,28	29,07	31,02
$\frac{m}{\rho}$ ρ г/см ² К	25,02	26,05	19,78	28,3

Наведені результати дослідження не тільки підтверджують правдивість рівняння (2.14), але й дозволяють, виходячи з сутності явищ, що відбуваються на поверхневих зонах, поглибити механізм дії протизношувальних присадок.

Як відомо [27 та інші], механізм дії протизношувальних присадок полягає в тому, що до їх складу входять ПАР, які за рахунок адсорбції утворюють на поверхнях \$тертя стінку плівку. Вона витримує великі

нормальні та зсувові навантаження, а також поділяє поверхні, заважаючи їх взаємній адгезії, тобто схоплюванню і заїданню.

Враховуючи результати наведених досліджень стану приповерхневих шарів тертя, слід вважати, що ця захисна плівка з ПАР сприяє також виходу на поверхні дислокацій, що відповідно ефекту П.О.Рєбіндера пластифікує та зміцнює ці поверхні, (утворюються вторинні структури [49;50]) а отже підвищує їх зносостійкість.

Таким чином, проявляється дуалізм дії захисної плівки, що свідчить про велике значення ПАР у захисті вузлів тертя від зношування. У зв'язку з цим треба мати на увазі, що базова частина деяких ЗМ окислюється незначно. Тому ці ЗМ містять відносно мало ПАР, які нездатні утворювати на поверхнях стійку адсорбовану плівку, яка впливає на рух дислокацій. Додання до цих ЗМ протизношувальної присадки, у склад якої входить ПАР, забезпечує їх активну і стійку адсорбцію на поверхнях, що сприяє зростанню щільності дислокацій у приповерхневій зоні тертя, тобто їх зносостійкості. Спрацьовування протизношувальної присадки приводить до зменшення ПАР, а дозоване уведення дозволяє постійно підтримувати у ЗМ їх необхідну кількість.

3.3. Висновки

1 .Мінімально допустимою концентрацією протизношувальної присадки ДФ-11 у ЗМ І-Г-А-32, МГ-46-В та І-Г-С 32 є 0,4% (від об'єму). Збільшення концентрації не приводить до адекватного зниження зносу, а зменшення концентрації різко його підвищує.

2 .Уведення до ЗМ протизношувальної присадки ДФ-11 безперечно знижує знос (в середньому в 1,52 рази) та коефіцієнт тертя (в середньому в 1,36 рази) зразків. Це зумовлено тим, що протизношувальна присадка

сприяє зміцненню поверхонь (підвищується щільність дислокацій у приповерхневій зоні у середньому в 1,64 рази).

3 .Механізм дії протизношувальної присадки полягає в утворенні на поверхнях ПК захисної плівки за рахунок ПАР, що входять до складу присадки. Ця плівка виконує дві функції: перешкоджає захопленню і заїданню поверхонь, а з іншої сторони, сприяє їх зміцненню (утворенню вторинних структур), а отже, збільшенню зносостійкості за рахунок інтенсифікації виходу дислокацій у приповерхневу зону.

РОЗДІЛ 4

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ (НА ПРИКЛАДІ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ ВЕРСТАТІВ)

Метою експлуатаційних випробувань було встановлення закономірності спрацьовування протизносної присадки ДФ-11 в індустріальному мастилі І-Г-С-32 при використанні його як РР у гідроприводах верстатів, а також визначення ефективності дозованого уведення присадки ДФ-11 за допомогою контейнера з точки зору зносу вузлів тертя гідр о приводу та строків служби РР.

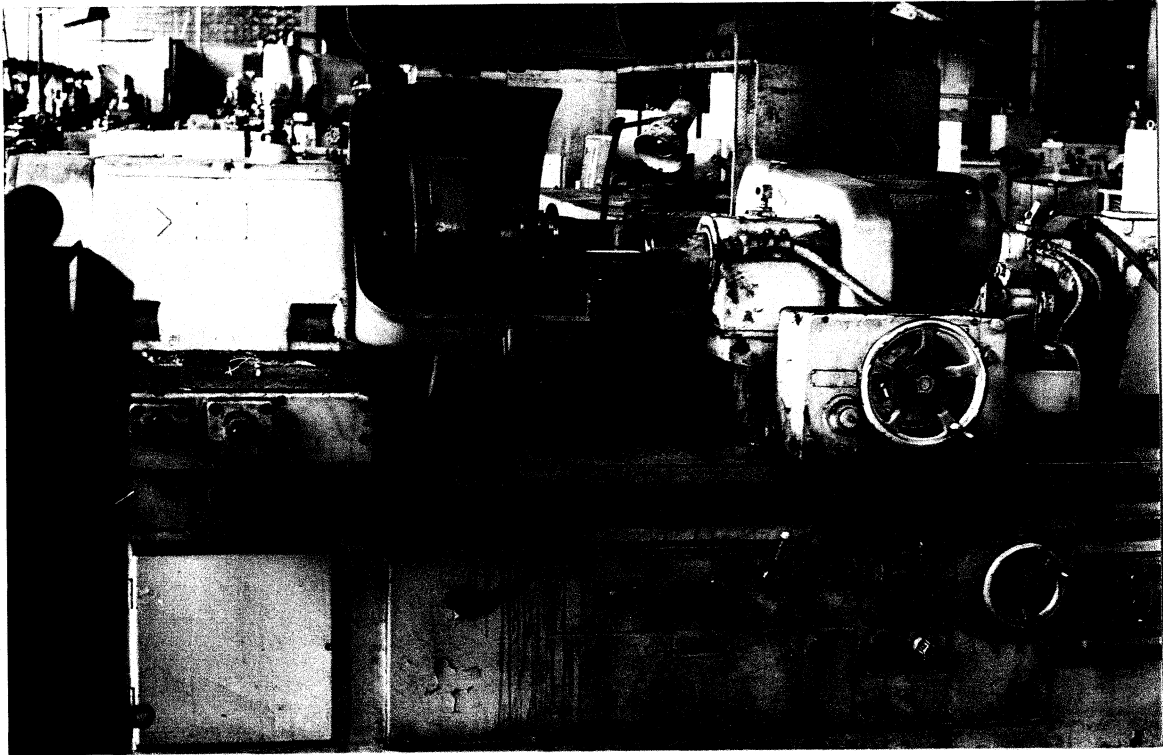
Гідропривод нами було вибрано тому, що у його складі є значна кількість вузлів тертя, які конструктивно представляють ПК (блоки циліндрів аксіально-поршневих насосів і гідромоторів, що обертаються у корпусі, їх підп'ятники, розподільні шайби, пластини лопатних насосів при контакті зі статором, пробкові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

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

Випробування проводились на ВАТ «Електромаш» м. Харкова.

Для випробувань використовувались плоскошліфувальні верстати моделей ЗБ722, ЗД725 й внутрішньошліфувальні верстати моделей ЗА229, ЗК227А (рис.4.1 - 4.4) з гідроприводом (табл.4.1).

Відібрані для досліджень верстати мали приблизно однакову дату випуску та виконували технологічні операції, які забезпечували приблизно однакові механічну і теплову напруженості елементів гідроприводу.



а)



б)

Рис.4.1 Верстат N1 (табл.4.1) моделі ЗА229 (а) та його гідро привод з контейнером для дозованого уведення (б)

*



а)



б)

Рис.4.2 Верстат N2 (табл.4.1) моделі 3К227А (а) та його гідропривод з контейнером для дозованого уведення (б)

*



а)



б)

Рис.4.3 Верстат N3 (табл.4.1) моделі ЗБ722 (а) та його гідропривод з контейнером для дозованого уведення (б)



а)



б)

Рис.4.4 Верстат N4 (табл.4.1) моделі ЗД725 (а) та його гідропривод з контейнером для дозованого уведення (б)

Таблиця 4.1

Перелік верстатів та параметри гідроприводів

Інвентарний номер та модель верстата	Умовний номер верстата, прийнятий під час експлуатаційних випробувань	Основні параметри та елементи гідроприводів
42106 42443	ЗА2291 (з... контейнером) 5 (контрольний)	місткість бака 125 л; насос 12Г12-13 ($\Pi = 950 \text{ хв}^{-1}$, $Q = 12/35 \text{ л/хв}$, $P_{\text{тах}} = 6,3 \text{ Мпа}$)
42318 -----, ЗК227А 42324	2 (з... контейнером) ^ (контрольний)	місткість бака 125 л; насос 25Г48-22Н ($\Pi = 950 \text{ хв}^{-1}$, $Q = 35 \text{ л/хв}$, $P_{\text{тах}} = 6,3 \text{ Мпа}$)
42113 -----, ЗБ722 42006	3 (з... контейнером) 7 (контрольний)	місткість бака 250 л; насос ЛЗ-1ФС100/18 ($\Pi = 950 \text{ хв}^{-1}$, $Q = 18/100 \text{ л/хв}$, $P_{\text{тах}} = 6,3 \text{ МПа}$)
42398 -----, ЗД725 42442	4 (з... контейнером) ^ (контрольний)	місткість бака 280л; насос 25Г12-25А ($\Pi = 950 \text{ хв}^{-1}$, $Q = 25/100 \text{ л/хв}$, $P_{\text{тах}} = 6,3 \text{ Мпа}$)

4.1. Закономірності спрацьовування присадки ДФ-11 в робочих рідинах

Перед початком випробувань з гідроприводів чотирьох верстатів (N 1- 4) була злита відпрацьована РР, гідроприводи були ретельно промиті, продукті стисненим повітрям та заправлені свіжою РР (індустріальним мастилом І-Г-С-32, яке у своєму складі має присадку ДФ-11). Після цього на протязі 1000 год (строк служби РР за даними керівництва по експлуатації верстатів) відбувалась експлуатація верстатів у виробничому технологічному режимі. З гідроприводів, що працювали не менше ніж 30 хвилин, періодично проводився відбір проб РР за слідуючою схемою:

проба N0 - через 0 годин експлуатації (свіжа РР);

проба N1 - через 30 годин експлуатації;

проба N2 - через 60 годин експлуатації;

проба N3 - через 100 годин експлуатації;

проба N4 - через 200 годин експлуатації;

проба N5 - через 400 годин експлуатації;

проба N6 - через 600 годин експлуатації;

проба N7 - через 800 годин експлуатації;

проба N8 - через 1000 годин експлуатації.

Відібрані проби РР піддавалися аналізу з метою визначення концентрації в них присадки (методом ІК-спектроскопії за допомогою інфрачервоного спектрофотометра ІК-20).

Результати аналізів проб РР показали, що в початковий період експлуатації відбувається інтенсивне зниження концентрації (спрацьовування) присадки. Так, наприклад, у гідроприводі верстата N1 концентрація присадки за 200 годин роботи РР зменшилась з 0,956% до 0,48%. Потім швидкість зниження концентрації присадки зменшується і

* наприкінці випробувань квазістабілізується. При цьому через 1000 годин

випробувань наявність присадки в РР з різних гідроприводів складає 0,06 - 0,12%, що набагато нижче мінімально припустимого значення, яке дорівнює 0,4%.

Отримані дані аналізів оброблялись програмним продуктом Excel 7.0 фірми Microsoft. В результаті були отримані закономірності спрацьовування присадки ДФ-11 в РР І-Г-С-32, яка експлуатувалась в кожному з чотирьох гідроприводів (табл.4.2). Використовуючи наведені в табл.4.2 рівняння, було побудовано відповідні графіки (рис.4.5 - 4.9).

Як впливає з наведених даних, спрацьовування присадки ДФ-11 в РР І-Г-С-32 підпорядковується експоненційній залежності. При цьому величина достовірності апроксимації R^2 має досить близьке до одиниці значення, що свідчить про цілком задовільну схожість отриманих рівнянь з експериментальними даними.

З наведених рівнянь можна встановити середнє значення часу роботи РР І-Г-С-32, після якого в ній відбувається спрацьовування присадки ДФ-11 до мінімально допустимого значення концентрації 0,4%. Для цього запишемо рівняння, що описує усереднену по 4-м гідроприводам закономірність спрацьовування присадки:

$$C = 0,0012e^{-0,002t} \quad (4.1)$$

Якщо прийняти у виразі (4.1) $C = 0,4\%$, то отримаємо, що середній час спрацьовування присадки ДФ-11 до мінімально допустимого значення складає приблизно 300 годин, що у 3,33 рази менше рекомендованого строку служби РР І-Г-С-32 у гідроприводі. На рис.4.9 наведено графік, який побудовано згідно з рівнянням (4.1).

Використовуючи наведені у табл.4.2 рівняння та узявши першу похідну по часу, можна отримати швидкість спрацьовування присадки, а

Таблиця 4.2

Рівняння, що апроксимують залежності швидкості спрацювання
присадки ДФ-11 в РР І-Г -С-32

Номер верстата	Рівняння, що апроксимують закономірності спрацювання присадки	Величина достовірності апроксимації, $R^{1,2}$	Рівняння, що апроксимують швидкість спрацювання присадки
1	$C = 0,7875 e^{-0,0023t}$	0,9569	$\frac{dC}{dt} = -0,0018 e^{-0,0023t}$
2	$C = 0,8985 e^{-0,0021t}$	0,9322	$\frac{dC}{dt} = -0,0019 e^{-0,0021t}$
3	$C = 0,7962 e^{-0,0023t}$	0,9185	$\frac{dC}{dt} = -0,0018 e^{-0,0023t}$
4	$C = 0,8772 e^{-0,0023t}$	0,9569	$\frac{dC}{dt} = -0,0020 e^{-0,0023t}$

Примітки:

1. t - час роботи верстата,
2. C - концентрація

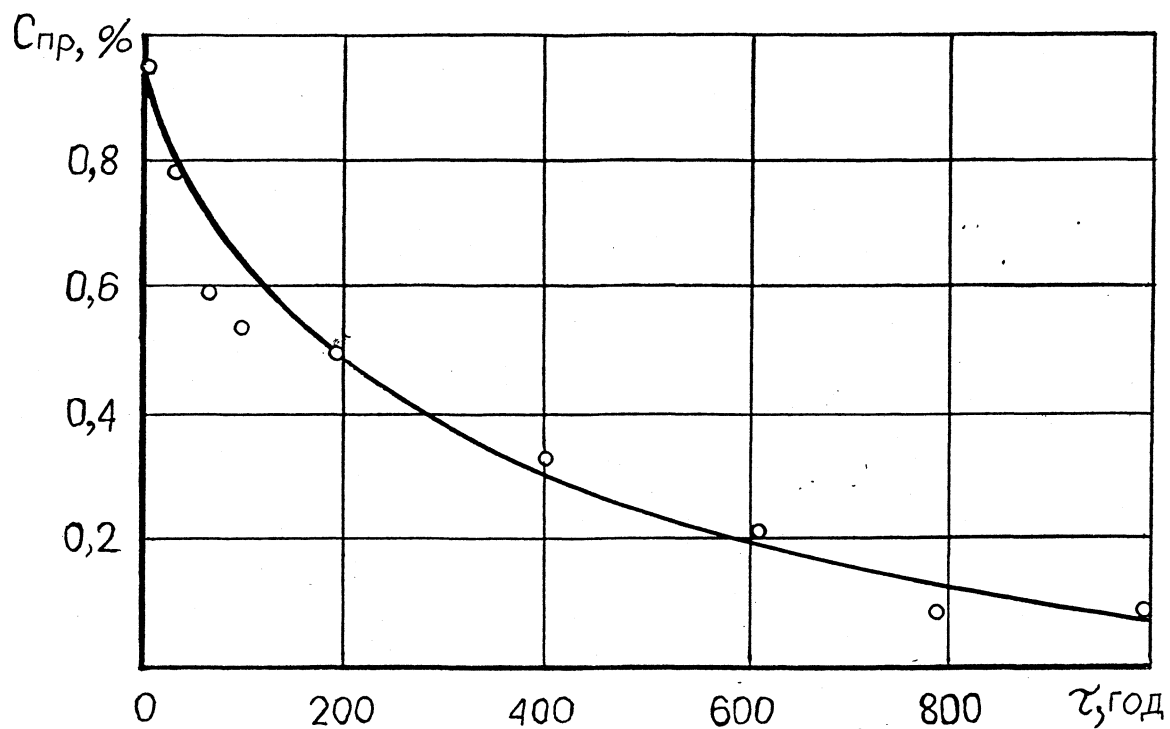


Рис.4.5 Спрацьовування присадки ДФ-11 в РР у залежності від часу роботи гідропривода (верстат N 1)

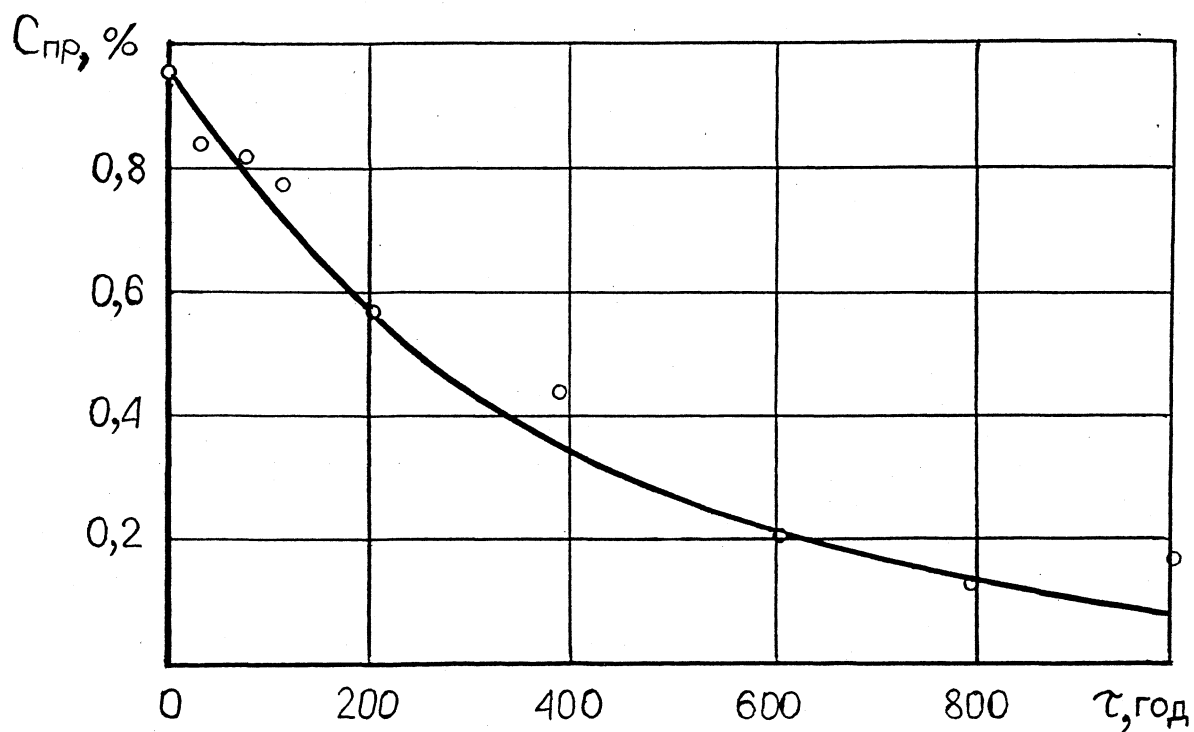


Рис.4.6 Спрацьовування присадки ДФ-11 в РР у залежності від часу роботи гідр о привода (верстат N 2)

*

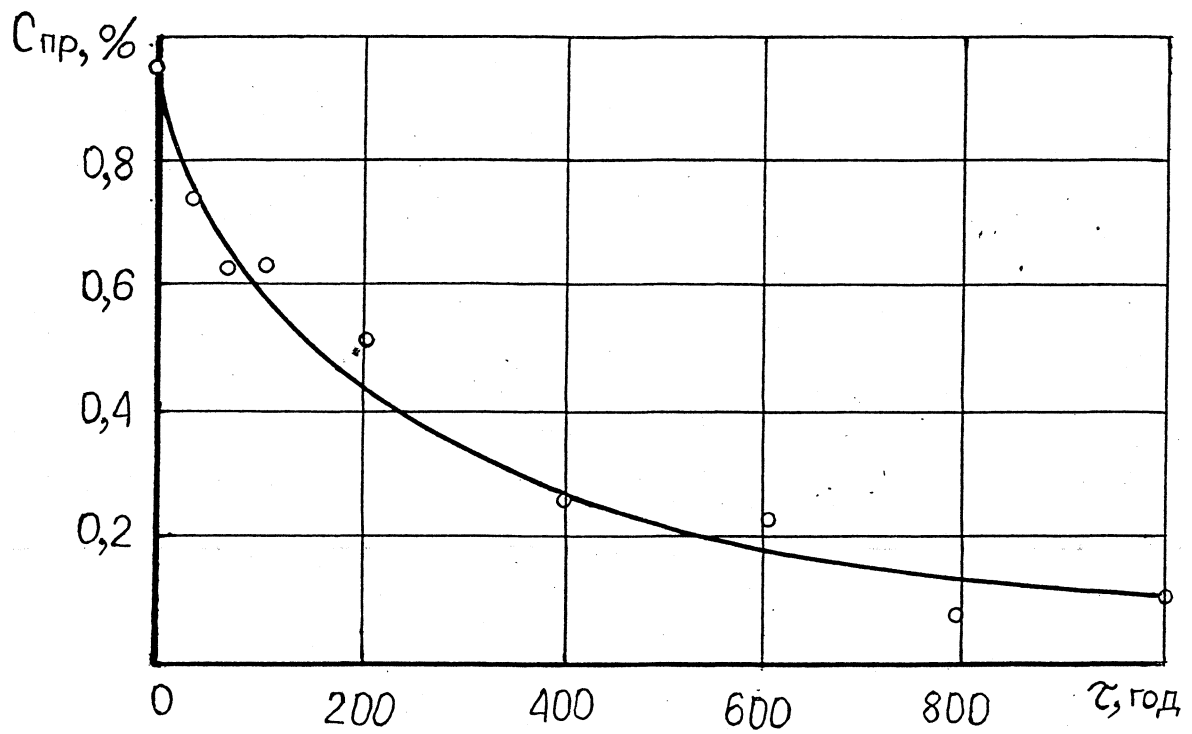


Рис.4.7 Спрацьовування присадки ДФ-11 в РР у залежності від часу роботи гідропривода (верстат N 3)

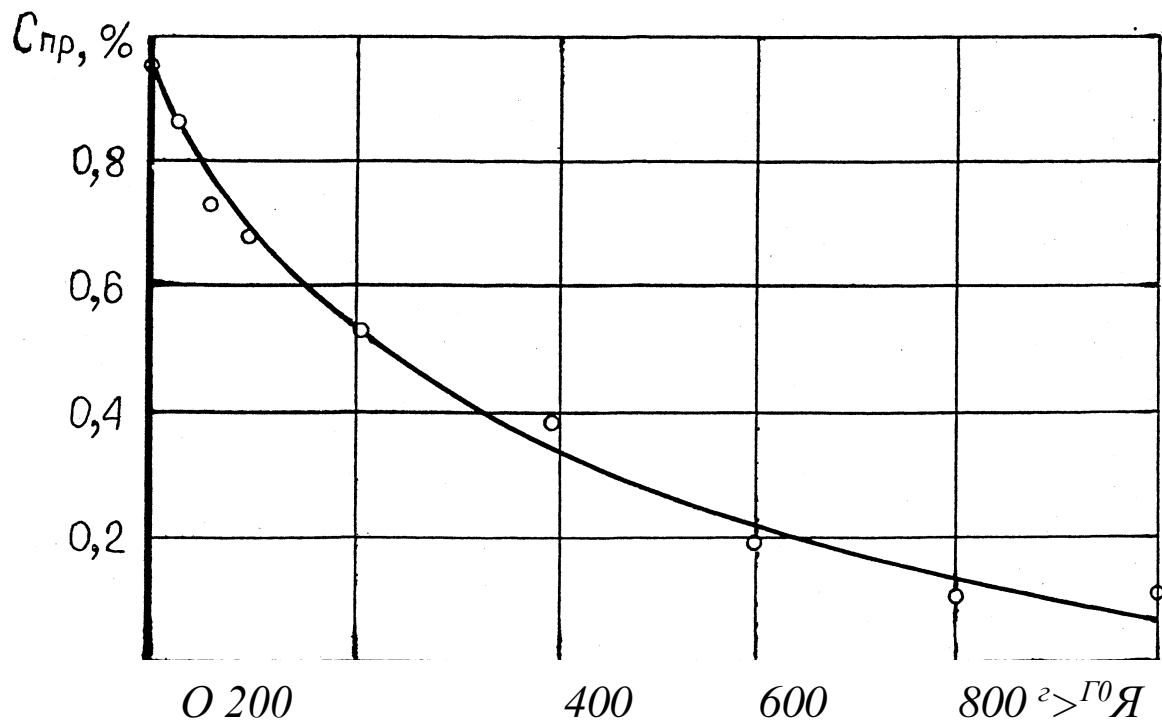


Рис.4.8 Спрацьовування присадки ДФ-11 в РР у залежності від часу роботи гідропривода (верстат N 4)

*

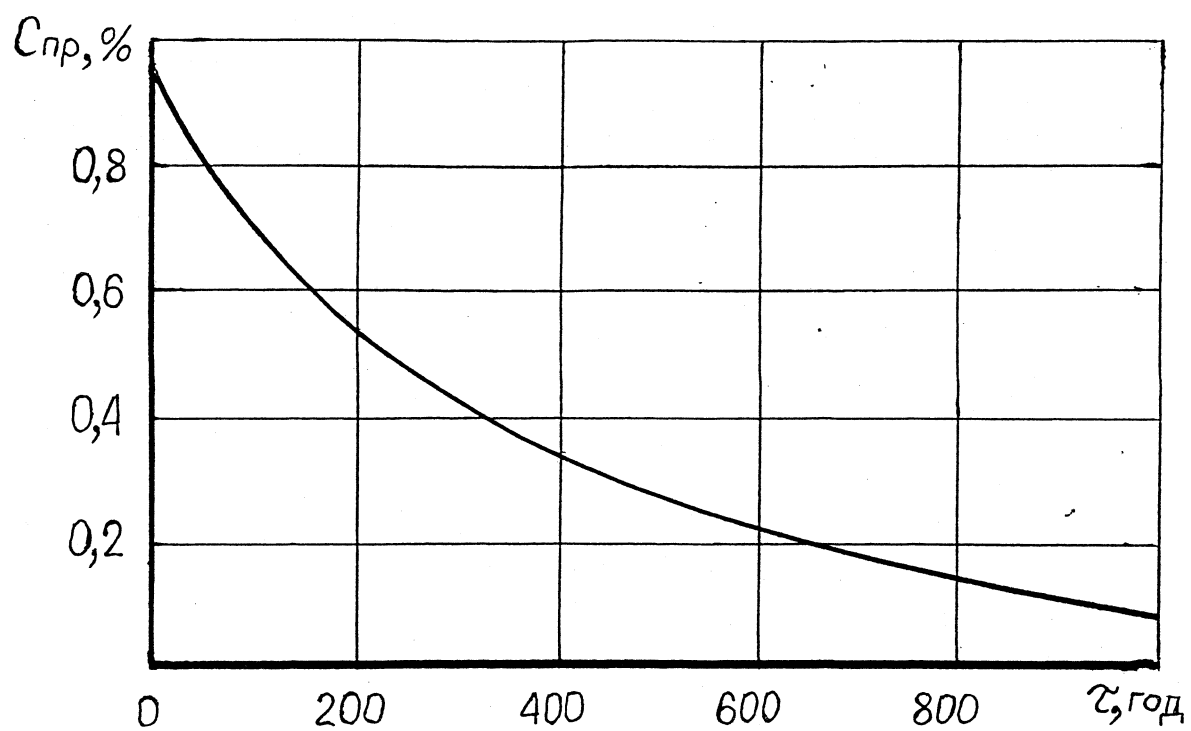


Рис.4.9 Спрацьовування присадки ДФ-11 в РР у залежності від часу роботи гідропривода (середні значення)

також середнє значення цієї швидкості. Для цього зобразимо рівняння спрацьовування присадки в загальному вигляді:

$$C = C_0 e^{-\beta t} \quad (42)$$

де C_0 - початкова концентрація присадки;

β - константа спрацьовування.

Тоді швидкість спрацьовування буде визначатися з рівняння:

$$C' = -\beta C_0 e^{-\beta t} \quad (4-3)$$

Середня швидкість спрацьовування:

$$\begin{aligned} C_{cp} &= \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} C' dt = -\beta \frac{C_0}{t_1} \int_0^{t_1} e^{-\beta t} dt \\ &= \frac{C}{t_1} (e^{-\beta t_1} - 1), \end{aligned} \quad (4-4)$$

де t_1 - час випробування гідропривода, $\beta = 1000$ годин.

Виходячи з середнього значення швидкості, був визначений потрібний об'єм присадки у контейнері і використовуючи рівняння (2.20), було розраховано параметри капілярів (кількість, довжина, діаметр) контейнерів для кожного з чотирьох гідроприводів (табл.4.3).

Таблиця 4.3

Середня швидкість спрацьовування присадки ДФ-11
та параметри капілярів контейнерів

Номер верстата	Швидкість спрацьовування, %/год	Параметри капілярів		
		КІЛЬКІСТЬ	довжина, мм	діаметр, мм
1	$7,1 \cdot 10^{-4}$	1	20	0,34
2	$8,08 \cdot 10^{-4}$	1	20	0,35
3	$7,16 \cdot 10^{-4}$	1	20	0,41
4	$7,89 \cdot 10^{-4}$	1	20	0,43

Примітка.

Середня швидкість спрацьовування присадки - $7,56 \cdot 10^{-4}$ % /годину.

За наведеними у табл.4.3 параметрами каплярів було виготовлено та встановлено у гідробаки приводів верстатів N1 - 4 контейнери з присадкою ДФ-11.

4.2. Зносостійкість елементів гідропривода і строки служби робочої рідини

З метою встановлення впливу дозованого уведення присадки ДФ-11 на зносостійкість вузлів тертя і строки служби РР було проведено експлуатаційні порівняльні випробування на восьми верстатах (табл.4.1), в гідробаки гідроприводів чотирьох з яких (N1 - 4) було встановлено контейнери для дозованого уведення присадки ДФ-11 (рис.4.10).

Інші чотири верстати (N5 - 8) експлуатувалися зі штатними гідр о приводами і були контрольними.

Перед початком випробувань з гідроприводів усіх верстатів була злита відпрацьована РР, гідроприводи були ретельно промиті, продуті стисненим повітрям і заправлені свіжою РР марки І-Г-С-32.

Верстати, що порівнювалися, (N 1-5; 2-6; 3-7; 4-8) експлуатувалися приблизно в однакових умовах, які забезпечували виконання потрібних технологічних операцій при відносно рівних механічній і тепловій напруженостях елементів гідропривода.

З гідроприводів, що працювали не менше ніж 30 хвилин, періодично проводився відбір проб РР, які потім підлягали аналізу для визначення наявності в них присадки ДФ-11, механічних домішок органічного і неорганічного походження, заліза* (за допомогою фотоколориметра ФЕК-56м), а також К.ч. Крім того, у всіх пробах РР визначався гранулометричний

Примітка. *Як відомо, наявність механічних домішок неорганічного походження та заліза інтегровано характеризує знос вузлів тертя у цілому.

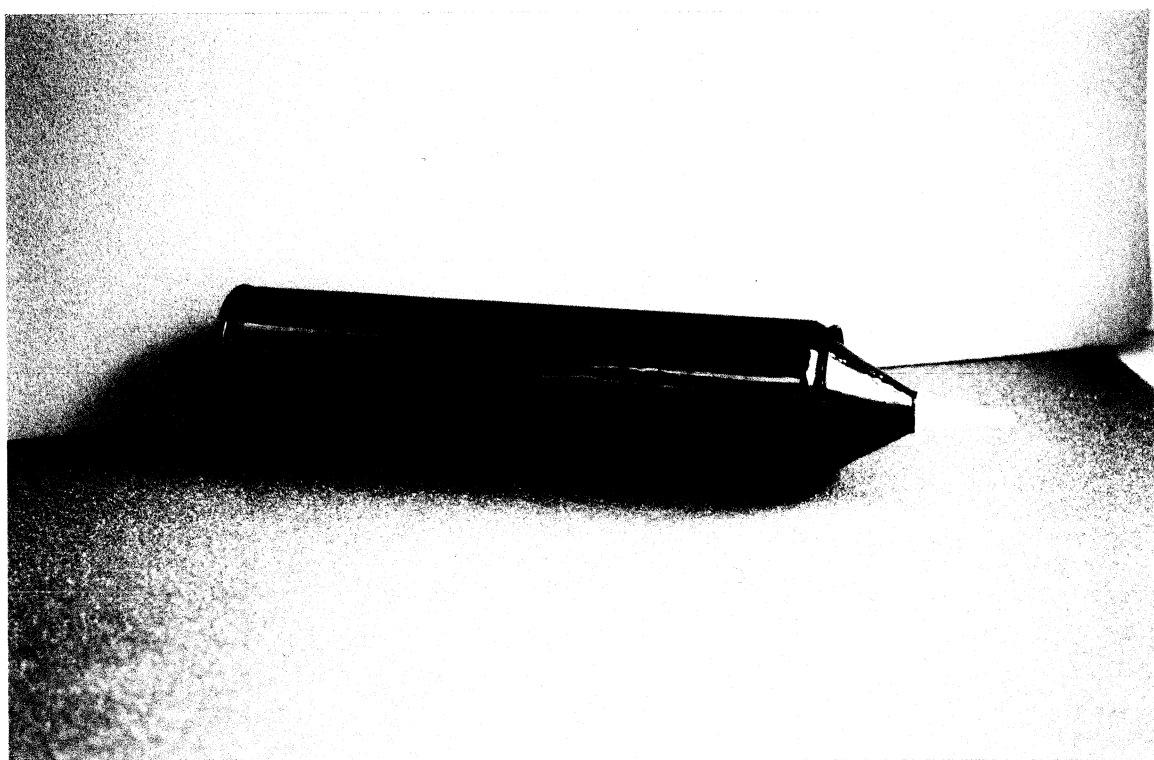


Рис.4.10 Контейнер для дозированого уведення

склад часток забруднень (за допомогою мікроскопа ММР-2 часток розміром 5 мкм і менших та аналізатора чистоти ФС-151 часток більших розмірів). Потім проводився розрахунок індексу забрудненості Z за рівнянням [73]:

$$Z = 10^3 \left(N_{10} \cdot 10 + N_{25} \cdot 25 + N_{50} \cdot 50 + N_{100} \cdot 100 + N_{200} \cdot 200 + N_{400} \cdot 400 \right) \quad (45)$$

Де N_{5-10} , N_{10-25} , N_{25-50} , N_{50-100} , $N_{100-200}$, $N_{200-400}$ - ЧИСЛО

часток забруднень розміром 5-10; 10-25; 25-50; 50-100; 100-200 мкм, а також волокон в 100 см³ РР.

За отриманими даними Z визначався клас чистоти РР згідно з ГОСТ17216-71 [34].

За даними гранулометричного аналізу проводився розрахунок коефіцієнта K_j протизносних властивостей РР [21; 22]:

$$K_j = \frac{N_{<5} \cdot 5}{10^3 Z} \quad (46)$$

де $N_{<5}$ - число часток забруднень розміром 5 мкм і менше в 100 см³ РР.

Одночасно з відбором проб за допомогою гідротестора [75] робилось визначення об'ємного ККД насосів.

РР в гідроприводах контрольних верстатів (N5-8) експлуатувалась згідно з рекомендаціями заводів-виробників протягом 1000 годин, а у

гідроприводах з контейнерами для дозованого уведення присадки - 2000 годин.

Результати експлуатаційних випробувань (рис.4.11 - 4.25, табл.4.4 - 4.10) показали, що при застосуванні контейнера для дозованого уведення присадки має місце слідує:

1.Наявність присадки ДФ-11 у РР протягом всього періоду випробувань складає 0,4% і більше. Внаслідок цього у порівнянні з контрольними гідроприводами знижується знос вузлів тертя:

по швидкості падіння об'ємного ККД насосів - в середньому в 2,6 рази;

по наявності заліза у РР - в 1,66 рази (за 1000 годин випробувань);

по концентрації механічних домішок неорганічного походження у середньому в 1,33 рази (за 1000 годин випробувань);

за величиною коефіцієнта K_j протизносних властивостей РР - у середньому в 1,42 рази (середнє значення K_j РР у контрольних гідроприводах склало за 1000 годин - 0,172, а в гідроприводах з контейнерами за 2000 годин - 0,245).

2.За рахунок зниження зносу клас чистоти РР згідно ГОСТ17216-71 [34] у цілому вище, ніж РР з контрольних гідроприводів. При цьому клас чистоти РР як з дозованим уведенням присадки, так і без нього знизився на гри одиниці. Але в першому випадку погіршення чистоти РР відбулося приблизно за 2000 годин, а у другому за 1000 годин випробувань гідроприводів.

3.Знижується швидкість окислення (збільшення К.ч.) РР, а отже, і наявність у ній механічних домішок органічного походження. Це пояснюється тим, що присадка ДФ-11, крім протизношувальних властивостей виконує також антиокислювальні функції.

4.Строк служби РР може бути значно продовжений. Якщо прийняти концентрацію присадки ДФ-11 1гк критерій, що регламентує строк служби

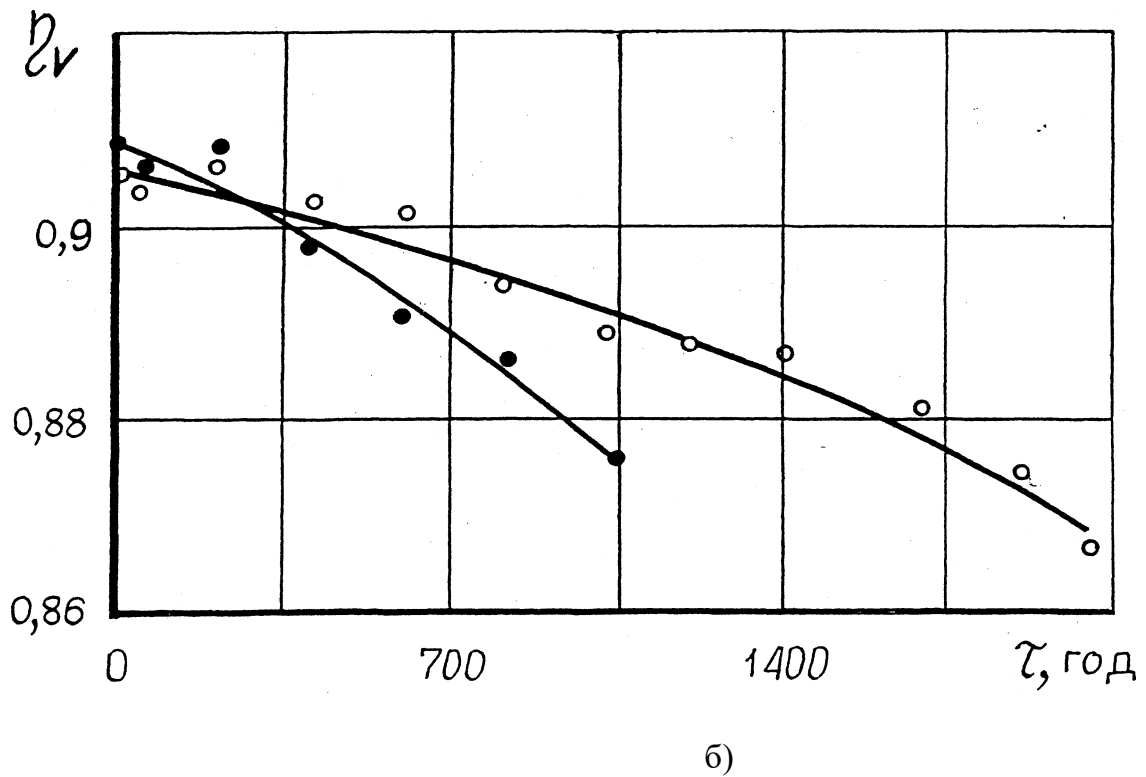
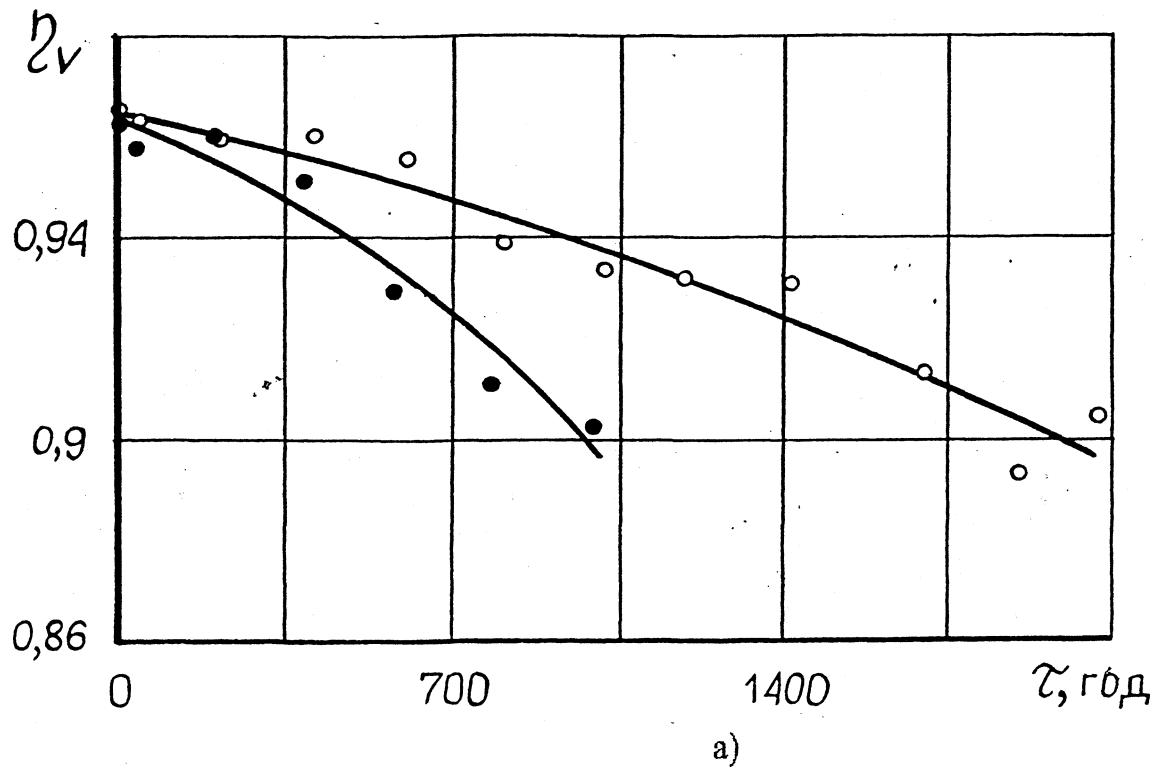


Рис.4.11 Змінювання об'ємного ККД насосів у гідроприводах верстатів:

а) -o-o-o- №1 з контейнером; -•-•-•г №5 - контрольний;

б) -o-o-o-№2 з контейнером; №6 - контрольний

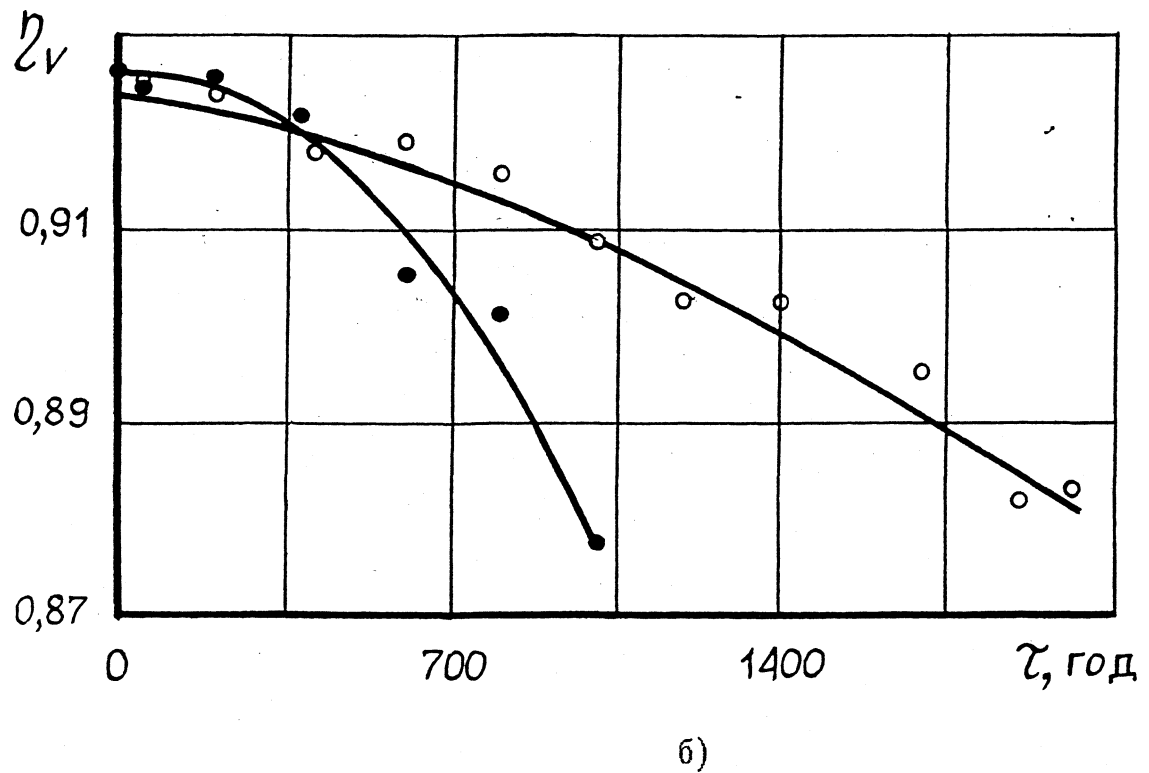
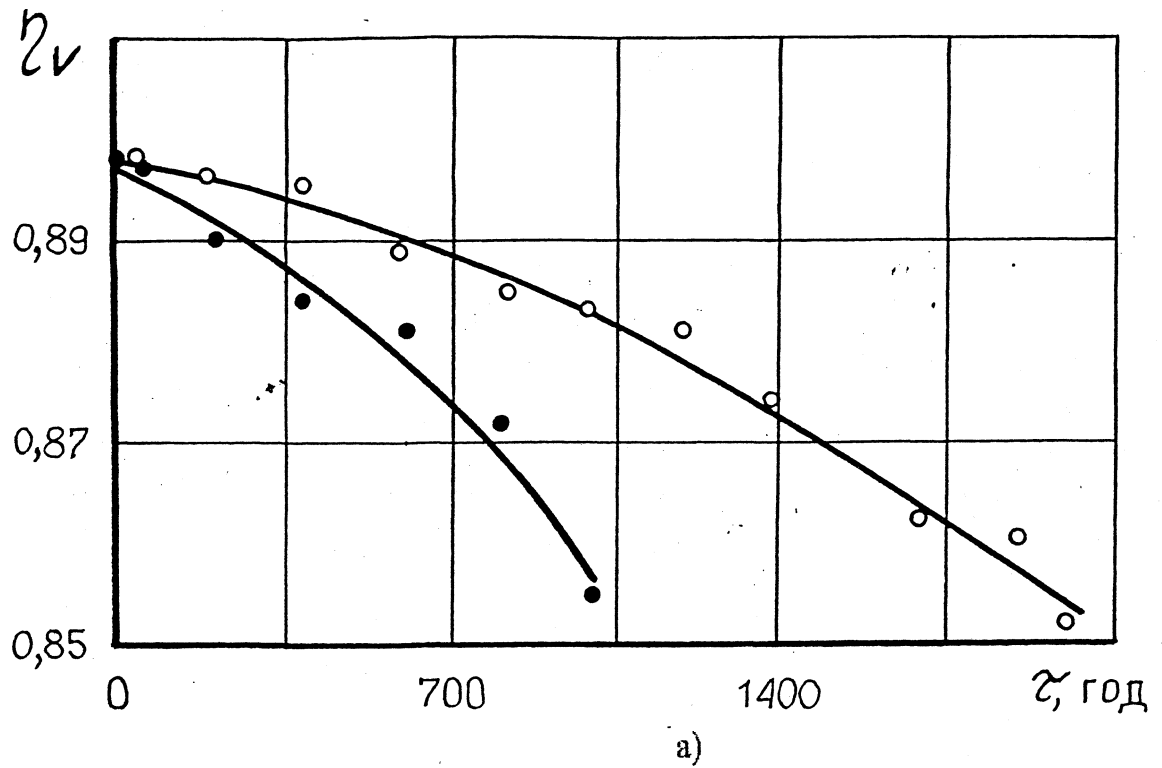


Рис.4.12 Змінювання об'ємного ККД насосів у гідроприводах верстатів:

а) -o-o-o- №4 з контейнером; №8 - контрольний

б) -o-o-o- №3 з контейнером; №7 - контрольний;

*

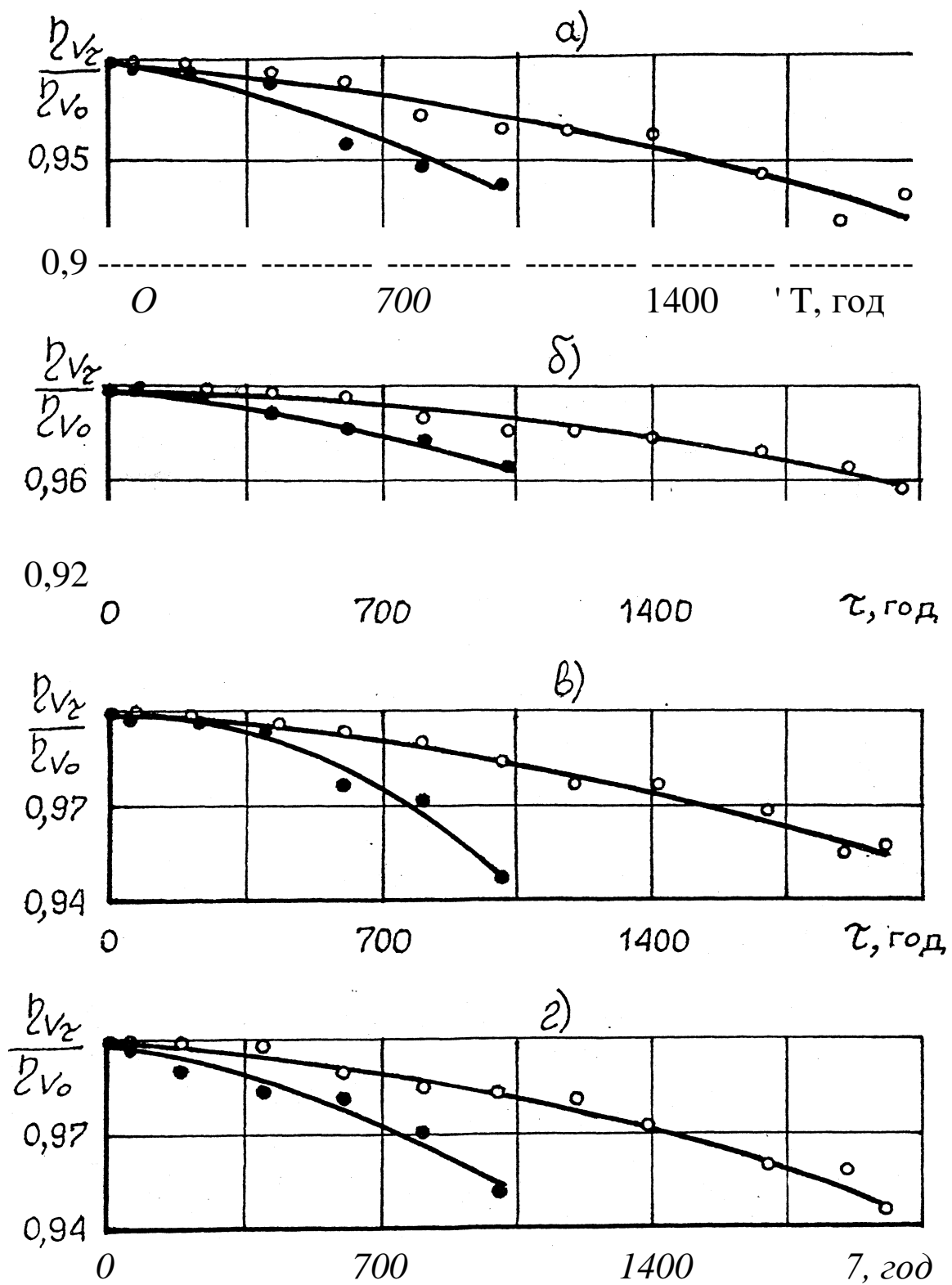


Рис.4.13 Змінювання відносного об'ємного ККД *Луо* насосів у гідроприводах верстатів: а) -o-o-o- №1 з контейнером; №5 - контрольний; б) -o-o-o- №2 з контейнером; №б - контрольний; в) -o-o-o- №3 з контейнером; *-*-*- №7 - контрольний; г) -o-o-o- №4 з контейнером; №8 - контрольний

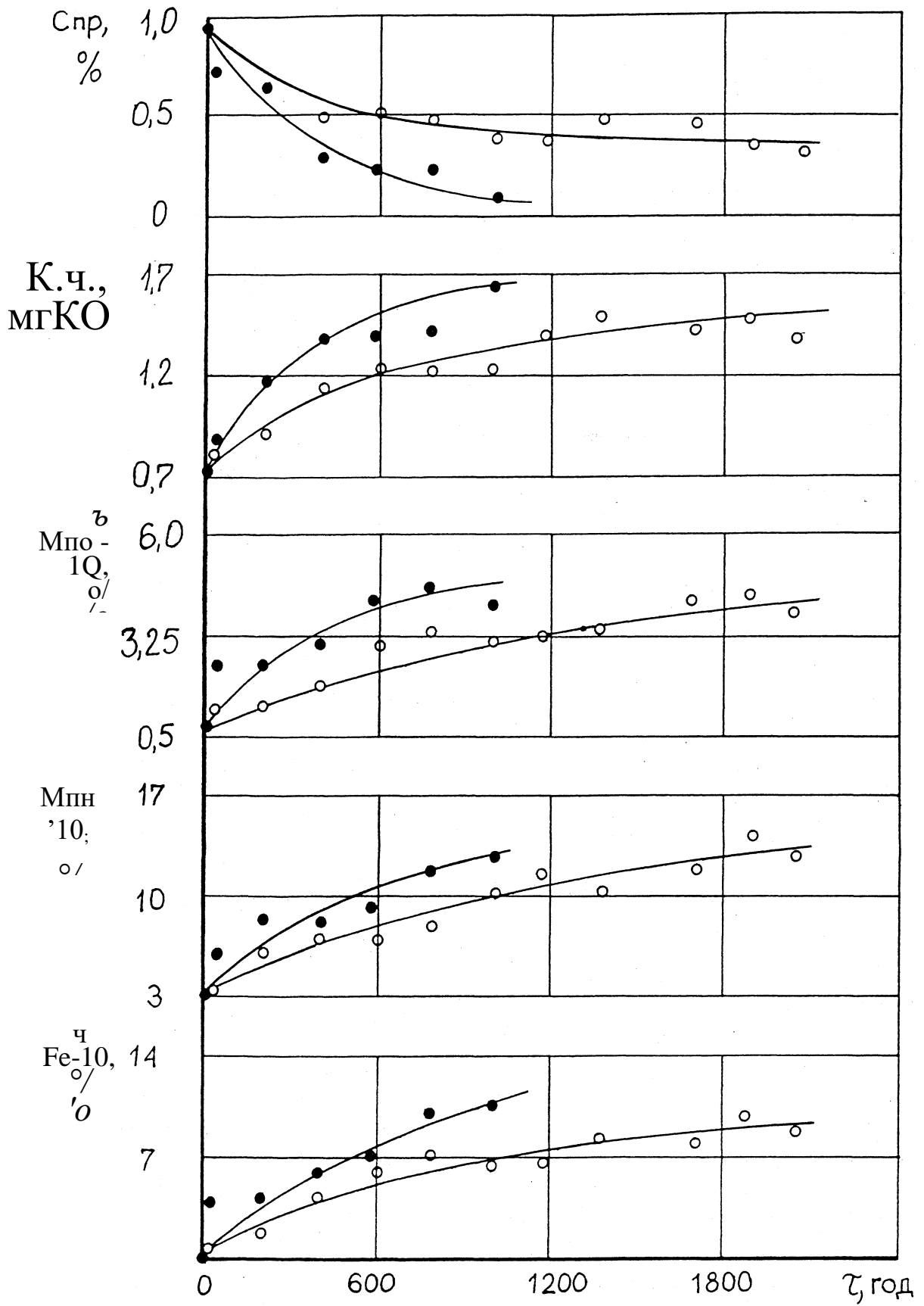


Рис.4.14 Змінювання фізико-хімічних показників РР у гідроприводах верстатів: -o-o-o- №1 з контейнером; №5 - контрольний

*

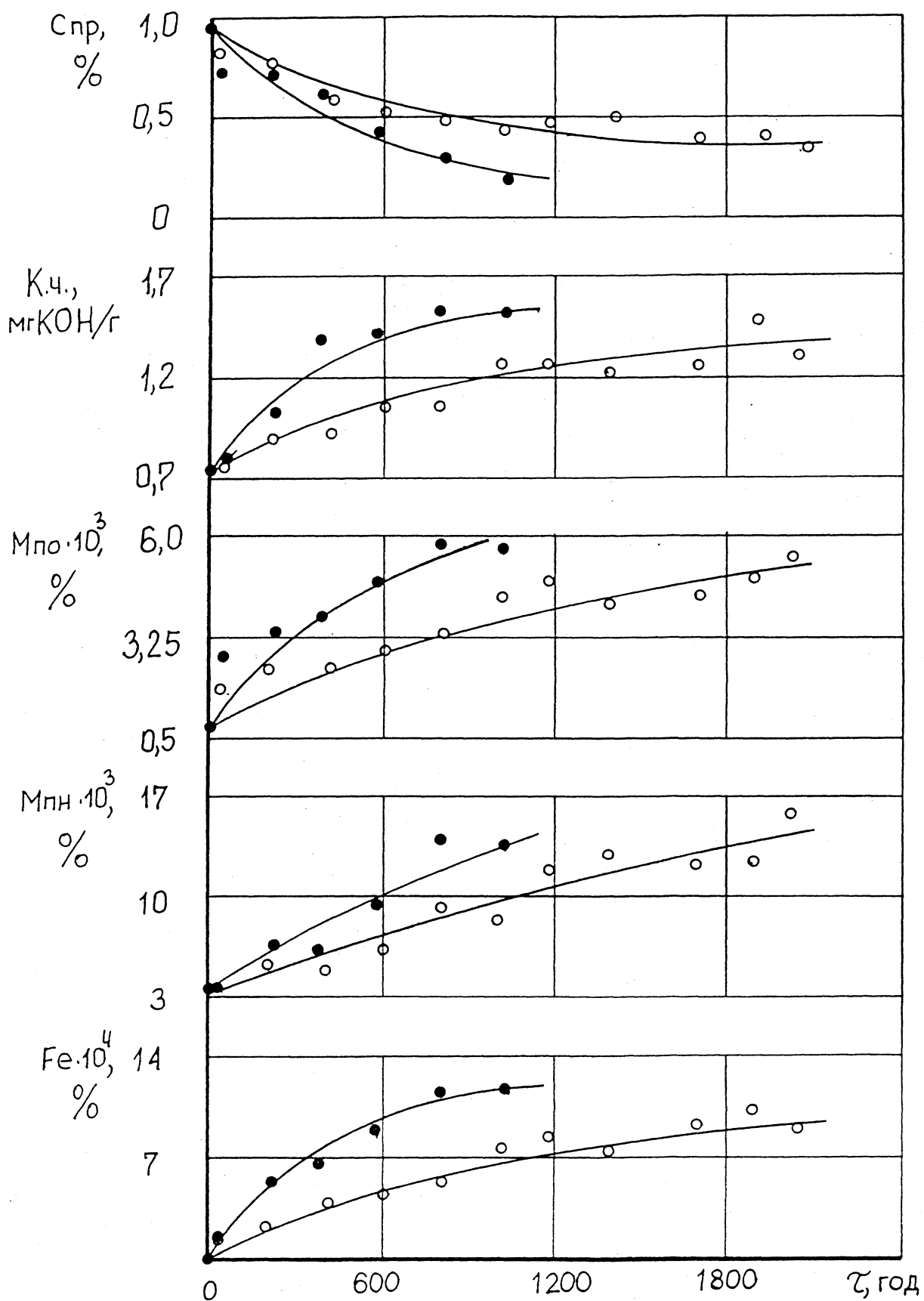


Рис.4.15 Змінювання фізико-хімічних показників РР у гідроприводах верстатів. -О-О-О- №2 з контейнером^ №6 - контрольний

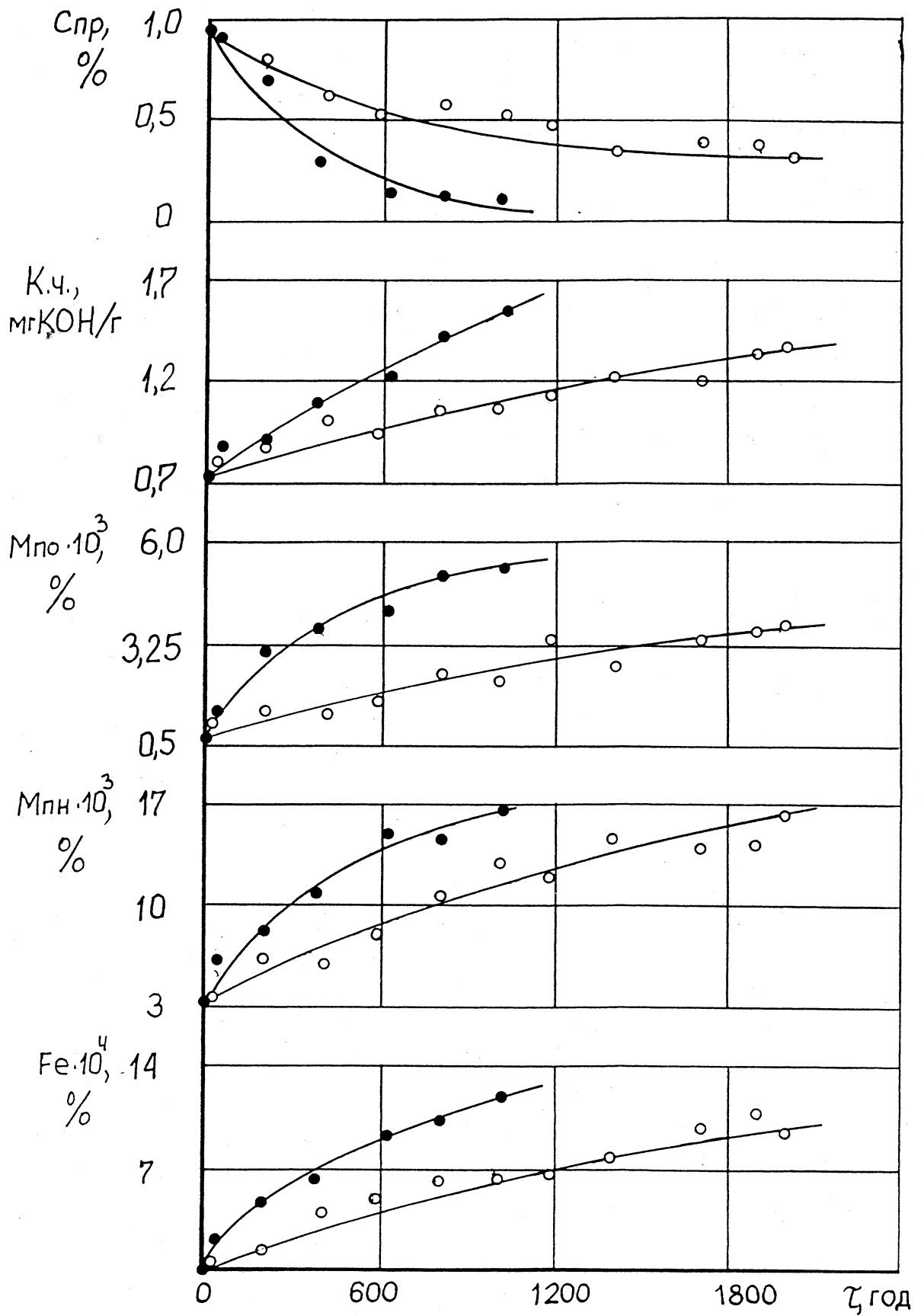


Рис.4.16 Змінювання фізико-хімічних показників РР у гідроприводах верстатів: -o-o-o- №3 з контейнером; №7 - контрольний

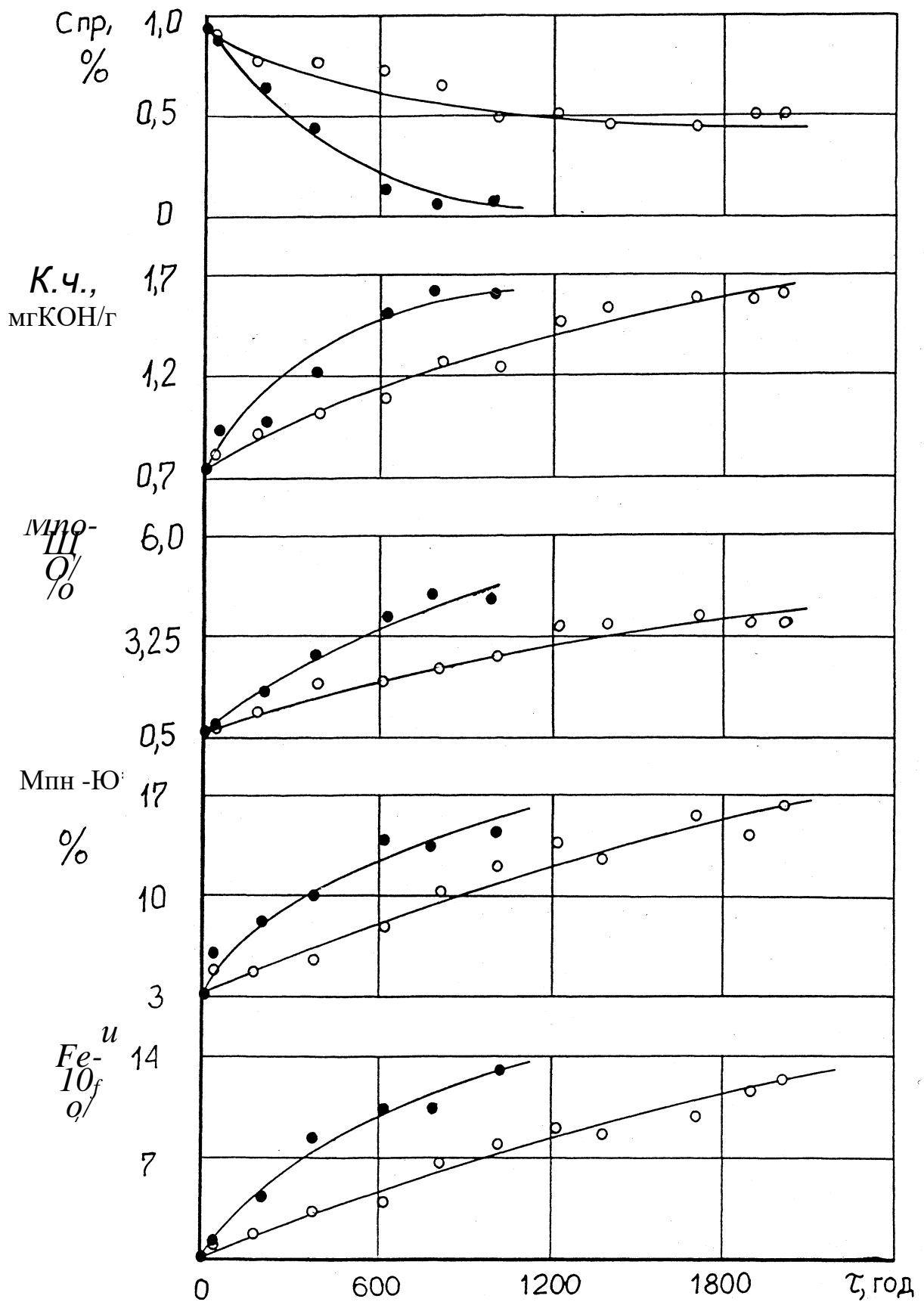


Рис.4.17 Змінювання фізико-хімічних показників РР у гідроприводах верстатів: -о-о-о-№4 з контейнером; №8 - контрольний

*

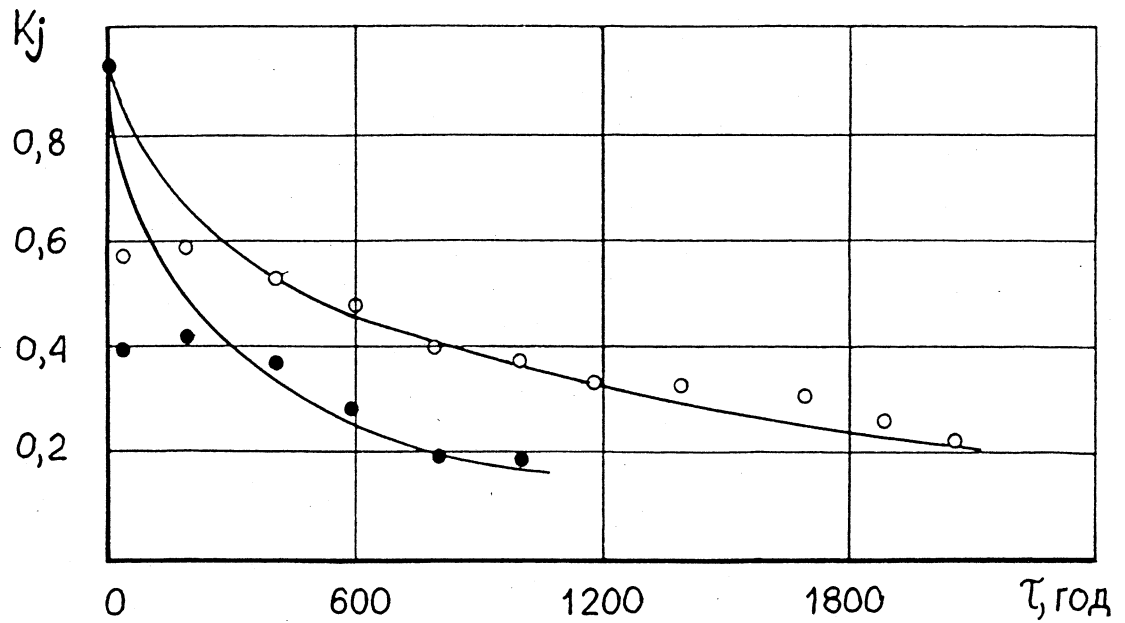


Рис.4.18 Змінювання коефіцієнта K_j протизношувальних властивостей РР гідроприводів верстатів: -o-o-o- №1 з контейнером: -•-•-•- №5 контрольний

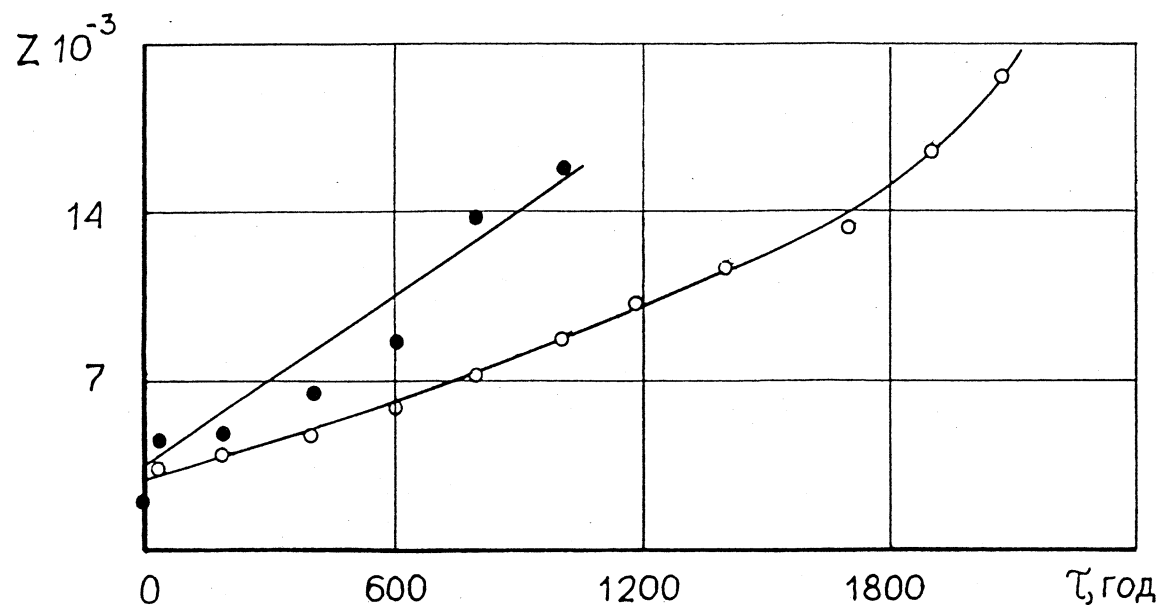


Рис.4.19 Змінювання індексу забрудненості РР у гідроприводах верстатів:

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

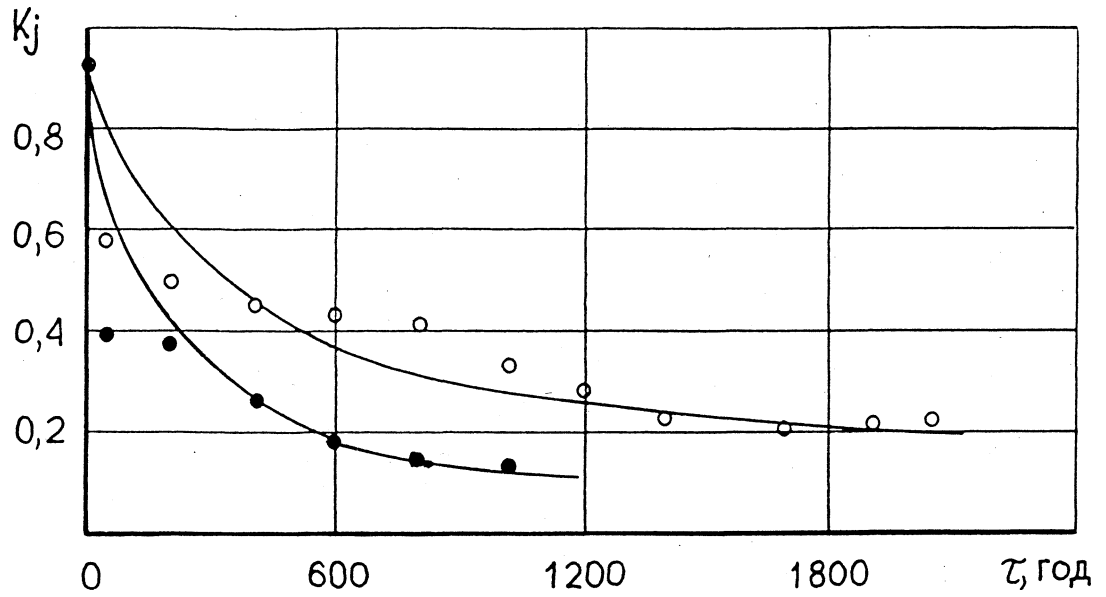


Рис.4.20 Змінювання коефіцієнта K_j протизношувальних властивостей РР гідроприводів верстатів: -o-o-o- №2 з контейнером; -*->*- №6 - контрольний

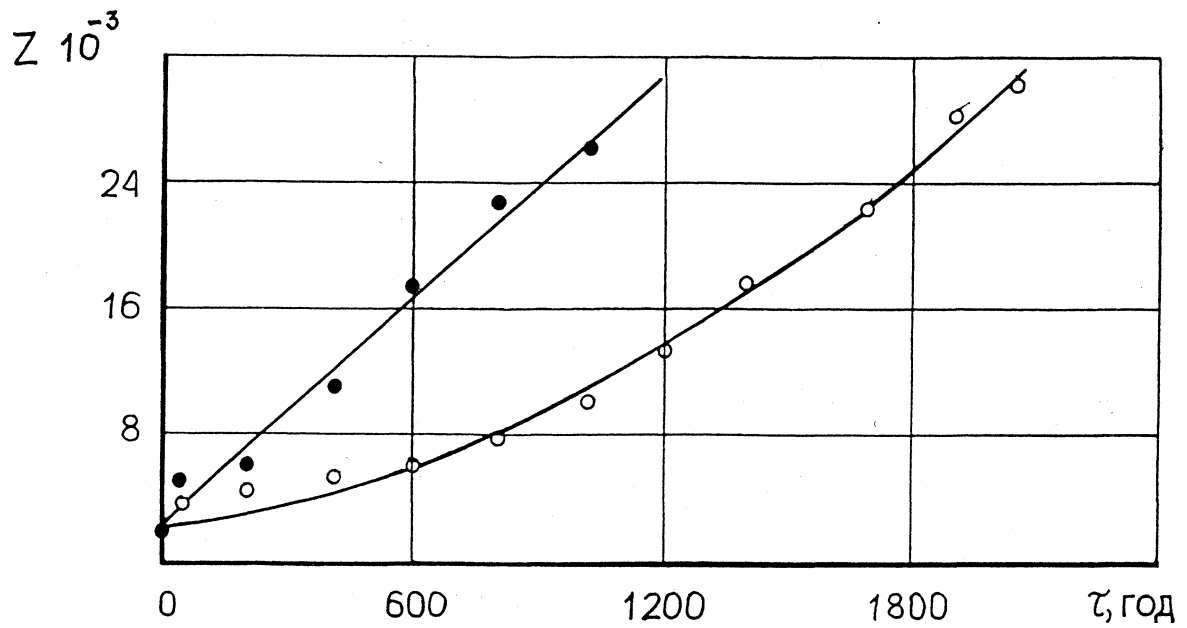


Рис.4.21 Змінювання індексу забрудненості РР у гідроприводах верстатів:
-o-o-o- №2 з контейнером; №6 - контрольний

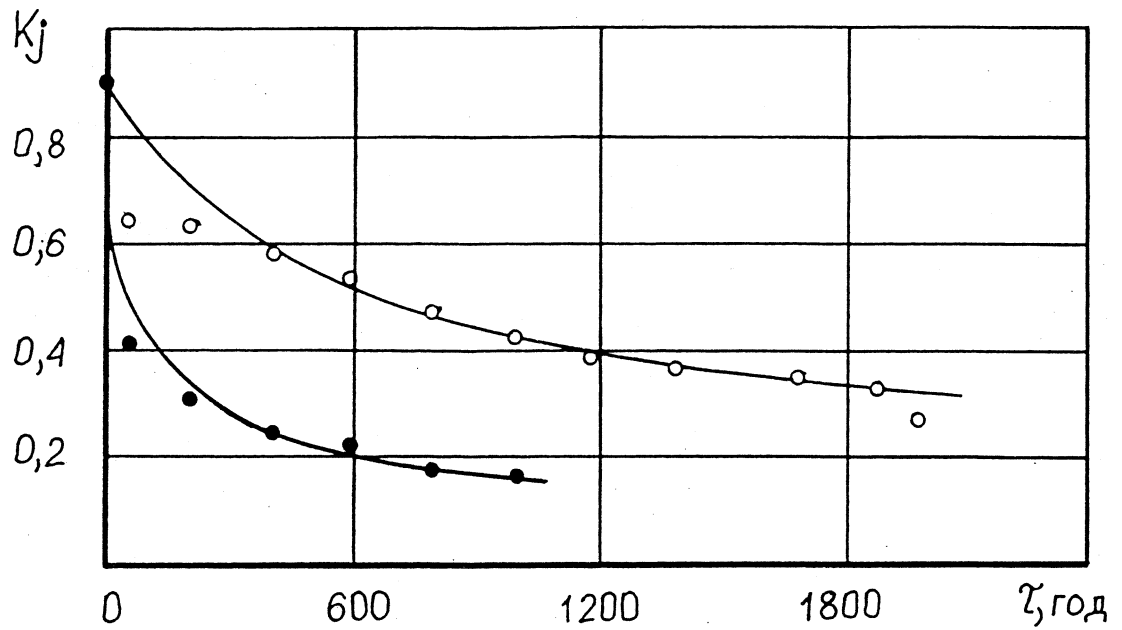


Рис.4.22 Змінювання коефіцієнта K_j протизношувальних властивостей РР гідроприводів верстатів: -o-o-o- №3 з контейнером; -»-»-»- №7 - контрольний

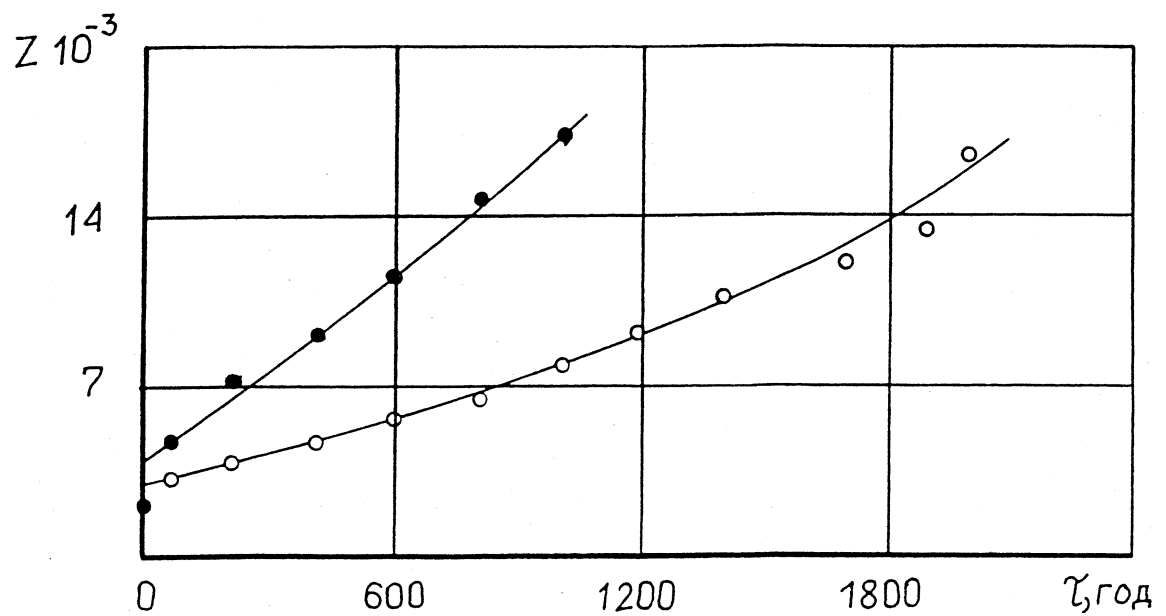


Рис.4.23 Змінювання індексу забрудненості РР у гідроприводах верстатів:
-o-o-o- №3 з контейнером; №7 - контрольний

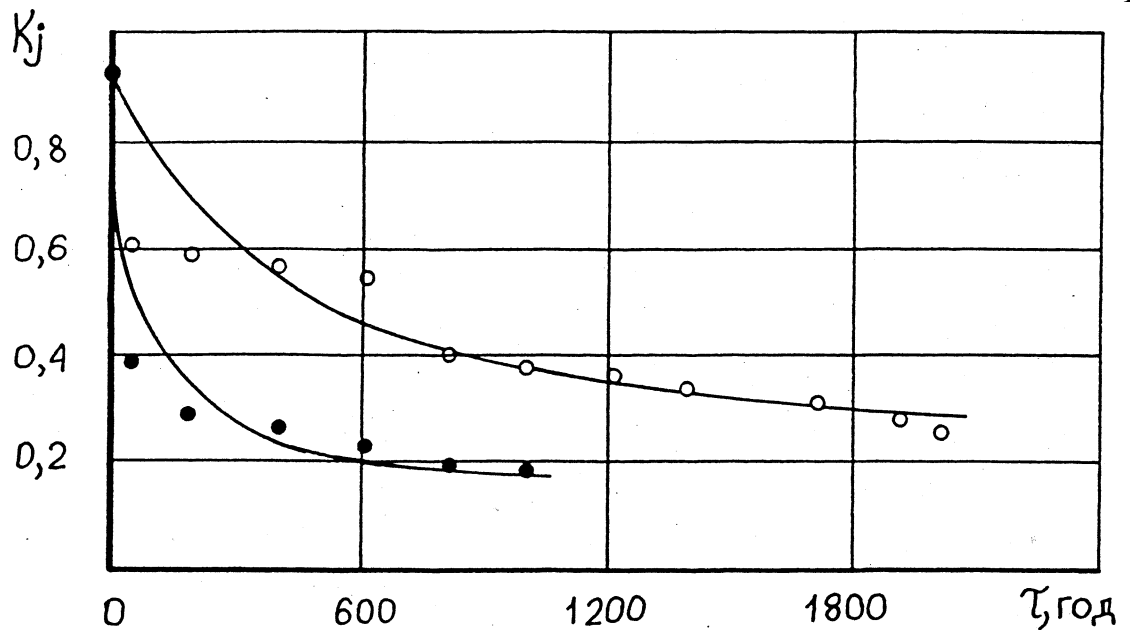


Рис.4.24 Змінювання коефіцієнта K_j протизношувальних властивостей РР гідроприводів верстатів: -o-o-o- №4 з контейнером; -•-•-•- №8 - контрольний

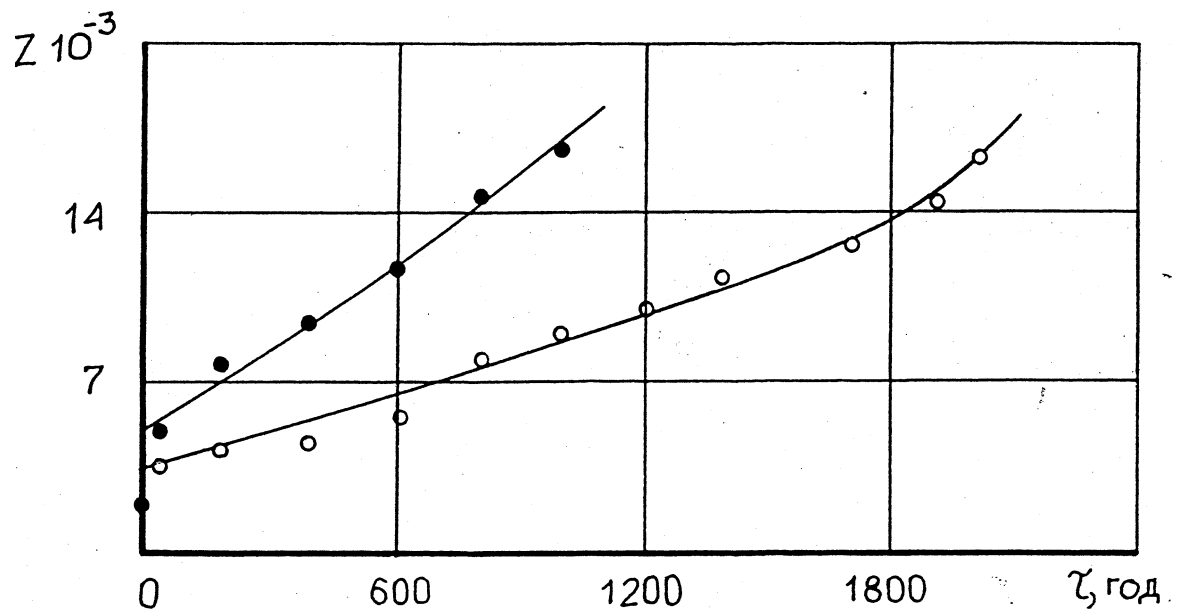


Рис.4.25 Змінювання індексу забрудненості РР у гідроприводах верстатів:
-o-o-o- №4 з контейнером; №8 - контрольний

Таблиця 4.4

Гранулометричний склад часток забруднень, клас чистоти за ГОСТ 17216 - 71 та величина коефіцієнта К_і протизношувальних властивостей РР І-Г-С-32 з гідроприводів верстатів №1 і №5

Наробка, год	Число часток забруднень в об'ємі 100 см ³ РР, при розмірі часток, мкм							Індекс забрудненості	Клас чистоти	К _і
	£5	>5 ДО 10	>10 ДО 25	>25 до 50	>50 доЮО	>100 до 200	волокна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	370625	82432	36700	3562	511	96	25	2000	13	0,926
45	<u>365468</u>	<u>146825</u>	<u>79680</u>	<u>17631</u>	<u>1246</u>	<u>658</u>	<u>46</u>	<u>4616</u>	<u>И</u>	<u>0,396</u>
38	380425	128413	52674	12385	812	248	37	3366	14	0,565
<u>208</u>	<u>412510</u>	<u>168710</u>	<u>101920</u>	<u>36510</u>	<u>1835</u>	<u>915</u>	<u>72</u>	<u>4937</u>	<u>15</u>	<u>0,417</u>
196	465210	136610	64545	16846	1025	325	40	4005	14	0,58
<u>400</u>	<u>484535</u>	<u>206895</u>	<u>142525</u>	<u>48715</u>	<u>2685</u>	<u>1896</u>	<u>236</u>	<u>6590</u>	<u>15</u>	<u>0,368</u>
406	509712	165420	72830	21575	1440	545	62	4831	14	0,527
<u>586</u>	<u>505426</u>	<u>256640</u>	<u>182430</u>	<u>59612</u>	<u>3475</u>	<u>2384</u>	<u>430</u>	<u>8794</u>	<u>15</u>	<u>0,287</u>
601	564314	186920	94720	26514	1836	727	84	5925	14	0,476
<u>790</u>	<u>546735</u>	<u>341720</u>	<u>224245</u>	<u>72415</u>	<u>4086</u>	<u>2714</u>	<u>625</u>	<u>13845</u>	<u>16</u>	<u>0,197</u>
797	582414	206714	121540	34617	2169	945	124	7291	15	0,399

Продовження табл. 4.4

Наробка, ГОД	Число часток забруднень в об'ємі 100 см ³ РР, при розмірі часток, мкм							Індекс забрудненості	Клас чистоти	К _і
	£5	>5 до 10	>10 ДО 25	>25 до 50	>50 ДО100	>100 до 200	волокна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1006	624450	386540	244220	84516	6075	3816	844	15905	16	0,196
1008	644080	234416	136075	48510	2686	1184	192	8754	15	0,368
-	-	-	••	•	-•*	-	—	*	•*	—
1182	702812	265617	158417	56310	3454	1846	240	10243	15	0,331
-		■ ■		-•	—		-			
1395	783275	298846	172540	68485	4070	2256	325	11714	15	0,322
-	«■	••		■»	—		-	.*	-	
1688	836512	326910	201450	75400	4945	2976	410	13329	15	0,304
-	•-	—		•*	•*		-		*	*
1890	866834	385806	246540	97400	6574	3652	675	16549	16	0,254
-	—	—		•»	-	••	-	•		••
2064	883625	415910	325625	105276	8416	4945	812	19718	16	0,222

Примітка. У чисельнику наведено відомості, щодо РР з гідропривода верстата №5 (контрольного), у знаменнику - №1 (з контейнером).

Таблиця 4.5

Гранулометричний склад часток забруднень, клас чистоти за ГОСТ 17216 - 71 та величина коефіцієнта К_і протизношувальних властивостей РР І-Г-С-32 з гідроприводів верстатів №2 і №б

Наробка, год	Число часток забруднень в об'ємі 100 см ³ РР, при розмірі часток, мкм							Індекс забрудненості	Клас чистоти	К _і
	<5	>5 ДО 10	>10 ДО 25	>25 до 50	>50 доЮО	>100 до 200	волокна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	370625	82432	36700	3562	511	96	25	2000	13	0,926
<u>55</u>	<u>415675</u>	<u>178510</u>	<u>86550</u>	<u>19468</u>	<u>1465</u>	<u>710</u>	<u>54</u>	<u>5231</u>	<u>14</u>	<u>0,397</u>
46	410246	135618	54728	13467	1012	316	31	3574	14	0,574
<u>210</u>	<u>462910</u>	<u>202615</u>	<u>104675</u>	<u>22406</u>	<u>2138</u>	<u>845</u>	<u>77</u>	<u>6179</u>	<u>14</u>	<u>0,375</u>
204	432460	168416	68875	14980	1365	462	30	4396	14	0,492
<u>392</u>	<u>584820</u>	<u>346785</u>	<u>206180</u>	<u>38400</u>	<u>3976</u>	<u>1084</u>	<u>68</u>	<u>11184</u>	<u>15</u>	<u>0,261</u>
410	476510	202020	86475	16546	1946	545	34	5327	14	0,447
<u>591</u>	<u>660320</u>	<u>475564</u>	<u>375490</u>	<u>48276</u>	<u>5678</u>	<u>1356</u>	<u>72</u>	<u>17424</u>	<u>16</u>	<u>0,189</u>
603	528160	238410	101108	17264	2156	746	46	6167	14	0,428
<u>805</u>	<u>681540</u>	<u>612450</u>	<u>495460</u>	<u>62310</u>	<u>6796</u>	<u>1784</u>	<u>84</u>	<u>22695</u>	<u>16</u>	<u>0,150</u>
805	617410	278920	131541	18840	3256	938	54	7554	15	0,409

Продовження табл. 4.5

Наробка, год	Число часток забруднень в об'ємі 100 см ³ РР, при розмірі часток, мкм							Індекс забрудненості	Клас чистоти	К _і
	£5	>5 ДО 10	>10 ДО 25	>25 до 50	>50 до100	>100 до 200	волокна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1032	708970	695910	546520	79946	8197	3525	106	26186	17	0,135
1020	670930	365410	186925	25436	4685	1465	38	10112	15	0,332
*	ля	*	•		—	*	*	*	-	-
1196	724030	472240	236520	28674	6184	1735	41	13051	16	0,278
«1	-		*	•	-	*	—	—	*•	-
1401	794236	506468	375620	35916	8268	2245	66	17554	16	0,226
	—	—	«•	■ «.	••	—	•	-	-	-
1692	912610	635728	480050	42630	10068	3645	72	22252	16	0,205
	*■	-	•	—	—	—	—		-	-
1908	1206430	810635	613136	51212	12456	4264	86	28128	17	0,214
*		*	*	-	*	-		«М	-	-
2051	1366880	925470	626285	54368	12980	5455	77	30050	17	0,227

Примітка. У чисельнику наведено відомості, щодо РР з гідропривода верстата №6 (контрольного), у знаменнику - №2 (з контейнером).

£

Таблиця 4.6

Гранулометричний склад часток забруднень, клас чистоти за ГОСТ 17216 - 71 та величина коефіцієнта К_і протизношувальних властивостей РР І-Г-С-32 з гідроприводів верстатів №3 і №7

Наробка, ГОД	Число часток забруднень в об'ємі 100 см ³ РР, при розмірі часток, мкм							Індекс забрудненості	Клас чистоти	К _і
	<5	>5 ДО 10	>10 до 25	>25 до 50	>50 до 100	>100 до 200	волокна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	370625	82432	36700	3562	511	96	25	2000	13	0,926
<u>60</u>	<u>381640</u>	<u>139180</u>	<u>81420</u>	<u>18605</u>	<u>1417</u>	<u>622</u>	<u>63</u>	<u>4549</u>	<u>14"</u>	<u>0,419</u>
54	396575	116274	46712	11376	715	202	34	3025	13	0,655
<u>204</u>	<u>436520</u>	<u>165812</u>	<u>106626</u>	<u>42810</u>	<u>2065</u>	<u>1025</u>	<u>85</u>	<u>6910</u>	<u>15</u>	<u>0,315</u>
202	472810	122544	61520	14188	938	286	39	3639	14	0,645
<u>386</u>	<u>442605</u>	<u>202410</u>	<u>138428</u>	<u>49070</u>	<u>2986</u>	<u>2136</u>	<u>224</u>	<u>8754</u>	<u>15</u>	<u>0,253</u>
406	516233	142218	69726	19576	1222	435	57	4376	14	0,590
<u>608</u>	<u>512710</u>	<u>248625</u>	<u>182710</u>	<u>62416</u>	<u>3654</u>	<u>2548</u>	<u>387</u>	<u>11205</u>	<u>15</u>	<u>0,229</u>
597	584270	168879	88870	23617	1678	541	75	5397	14	0,541
<u>801</u>	<u>518846</u>	<u>354420</u>	<u>230060</u>	<u>74535</u>	<u>4242</u>	<u>3013</u>	<u>584</u>	<u>14283</u>	<u>16</u>	<u>0,182</u>
800	603514	184572	99195	31510	2035	725	99	6289	14	0,480

Продовження табл. 4.6

Наробка, год	Число часток забруднень в об'ємі 100 см* РР, при розмірі часток, мкм							Індекс забрудненості	Клас чистоти	К _і
	£5	>5 ДО 10	>10 ДО 25	> 25 до 50	>50 ДО100	>100 до 200	волокна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1012	563282	394716	255714	92614	7040	4165	922	16876	16	0,167
1008	648712	216812	121475	37814	2248	910	125	7552	15	0,429
—	—	-	«•	—		•	•		*■	*•
1194	702812	244463	147788	43412	2899	1277	170	8923	15	0,394
-		—	■■	-»	«0		•	*■	*	
1406	783275	275184	164455	56777	3371	1648	234	10462	15	0,374
-		—		—	*		—	-»	*	*•
1702	836512	288914	188736	65300	3987	1871	268	11752	15	0,356
-	-	-	-•	—	•*	*>	—	•	—	
1901	866834	325710	216711	77417	4685	2165	375	13175	16	0,329
-	—	—	•	—			—	*	—	—
2005	883625	366517	269185	87564	6182	2966	416	16151	16	0,272

Примітка. У чисельнику наведено відомості, щодо РР з гідропривода верстата №7 (контрольного), у знаменнику - №3 (з контейнером) . !

Таблиця 4.7

Гранулометричний склад часток забруднень, клас чистоти за ГОСТ 17216 - 71 та величина коефіцієнта К_і протизношувальних властивостей РР І-Г-С-32 з гідроприводів верстатів №4 і №8

Наробка, год	Число часток забруднень в об'ємі 100 см ³ РР, при розмірі часток, мкм							Індекс забрудненості	Клас чистоти	К _і
	<5	>5 ДО 10	>10 ДО 25	>25 до 50	>50 до 100	>100 до 200	волокна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	370625	82432	36700	3562	511	96	25	2000	із	0,926
<u>51</u>	<u>394720</u>	<u>136725</u>	<u>96138</u>	<u>19265</u>	<u>1655</u>	<u>811</u>	<u>64</u>	<u>5087</u>	<u>14</u>	<u>0,388</u>
47	416578	99635	64514	14575	614	311	31	3474	14	0,599
<u>200</u>	<u>436020</u>	<u>184633</u>	<u>128715</u>	<u>42156</u>	<u>1916</u>	<u>1026</u>	<u>82</u>	<u>7602</u>	<u>15</u>	<u>0,287</u>
188	476630	128714	69725	17811	838	465	22	4106	14	0,580
<u>383</u>	<u>517624</u>	<u>228135</u>	<u>154310</u>	<u>54166</u>	<u>2846</u>	<u>2154</u>	<u>164</u>	<u>9628</u>	<u>15</u>	<u>0,267</u>
396	534182	144438	76518	23516	1070	480	48	4755	14	0,562
<u>602</u>	<u>526475</u>	<u>268240</u>	<u>202185</u>	<u>62713</u>	<u>3911</u>	<u>2475</u>	<u>236</u>	<u>11853</u>	<u>15</u>	<u>0,229</u> '
602	617710	175614	88926	27728	1355	658	63	5658	14	0,541
<u>799</u>	<u>583710</u>	<u>356711</u>	<u>248711</u>	<u>78154</u>	<u>4268</u>	<u>2516</u>	<u>535</u>	<u>14837</u>	<u>16</u>	<u>0,197</u>
809	625834	214151	136541	38578	1840	837	88	7870	15	0,398

Продовження табл. 4.7

Наробка, год	Число часток забруднень в об'ємі 100 ск? РР, при розмірі часток, мкм							Індекс забрудненості	Клас чистоти	К _і
	£5	>5 ДО 10	>10 до 25	>25 до 50	>50 доЮО	>100 до 200	волокна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1001	636185	405186	262202	92266	6570	2977	688	16748	16	0,190
1001	670032	246614	143516	46613	2166	1062	135	8868	15	0,378
—	*	—	••	•"	—	—	—	«•		-
1204	725834	272188	160085	54381	2485	1773	146	10104	15	0,359
— ■	—			••		■>	••	<*		-
1391	768711	304517	169733	63714	3672	2165	125	11324	15	0,334
«■	—	-		-»		-	-			
1703	794065	338814	188416	72625	4684	2548	172	12777	15	0,311
•	•• —	-		-		-	•«	-»	••	-
1905	826135	377926	206725	87518	5355	3270	193	14590	16	0,283
—	—	—	—	—	—	—	—		-	-
2008	841820	399412	248627	93688	7244	3295	216	16363	16	0,257

Примітка. У чисельнику наведено відомості, щодо РР з гідропривода верстата №8 (контрольного), у знаменнику - №4 (з контейнером).

Таблиця 4.8

Рівняння, що апроксимують закономірності змінювання фізико-хімічних властивостей РР І-Г-С-32
під час експлуатаційних випробувань

Номер верстата	Наявність контейнера	Фізико-хімічний показник	Апроксимуюче рівняння	Величина достовірності апроксимації
1	2	3	4	5
1/5	є/немає	Спр	$\frac{0,7039e^{\lambda \cdot t}}{0,8803e^{100022t}}$	<u>0,7089</u> 0,9449
1/5	є/немає	К.ч.	$-3E-0,7^{\wedge}+0,00081+0,7644$ $-8E-0,7^{\wedge}+0,00161+0,7851$	<u>0,9586</u> 0,9448
1/5	є/немає	Мпо*10*	$-8E-0,7^{\wedge}+0,0032t+0,8767$ $-4E-0,6^{\wedge}+0,0071t+1,1786$	<u>0,9293</u> 0,9263
1/5	є/немає	Мпн*10 ³	$-1E-0,6^{\wedge}+0,00771+3,5679$ $-4E-0,6^{\wedge}+0,00116t+4,735$	<u>0,9438</u> 0,8713
1/5	є/немає	Fe*10 ⁴	$-2E-0,6^{\wedge}+0,0091t+0,3512$ $-4E-0,6^{\wedge}+0,0135t+1,4112$	<u>0,9499</u> 0,9285
2/6	є/немає	Спр	$\frac{0,7857e^{AWtMt}}{0,9266e^{A0015t}}$	<u>0,8561</u> 0,9668
2/6	є/немає	К.ч.	$-1E-0,7^{\wedge}+0,0006t+0,7188$ $-1E-0,6t^2+0,002t+0,6946$	<u>0,9338</u> 0,983
2/6	є/немає	Мпо*10 ³	$-8E-0,7^{\wedge}+0,0036t+1,17$ $-4E-0,61^{\wedge}+0,00841+1,3702$	<u>0,9219</u> 0,9224

Номер верстата	Наявність контейнера	Фізико-хімічний показник	Апроксимуюче рівняння	Величина достовірності апроксимації
1	2	3	4	5
2/6	є/немає	Мпн*10 ³	-7E-0,7t ² +0,00711+2,9558	<u>0,9364</u>
			-2E-0,6t+0,0127t+3,0275	0,9314
• 2/6	є/немає	Fe*10 ⁴	-2E-0,7t ² +0,00831+0,4092	<u>0,9677</u>
			-1E-0,5t+0,021+0,4203	0,988
3/7	є/немає	Спр	$\frac{0,8629e^{A_{06}Q_{5t}}}{0,9388e^{+0,0025t}}$	<u>0,9016</u>
				0,9179
3/7	є/немає	К.ч.	-2E-0,8t+0,0003t+0,7761	<u>0,9563</u>
			-5E-0,8t+0,00081+0,7608	0,9893
3/7	є/немає	Мпо*10*	-3E-0,7t+0,00191+0,8092	<u>0,9168</u>
			-4E-0,6t+0,0085t+0,944	0,9712
3/7	є/немає	Мпн*10 ³	-2E-0,61t+0,01091+2,988	<u>0,9643</u>
			-1E-0,5t ² +0,022t+4,0473	0,9695
3/7	є/немає	Fe*10 ⁴	-2E-0,6t+0,00791+0,2366	<u>0,9733</u>
			-8E-0,61t+0,0186t+0,5412	0,9888
4/8	є/немає	Спр	$\frac{0,8655e^{A_{60}Q_{4t}}}{1,0688e^{+0,0033t}}$	<u>0,8399</u>
				0,9317

Продовження табл. 4.8

Номер верстата	Наявність контейнера	Фізико-хімічний показник	Апроксимуюче рівняння	Величина достовірності апроксимації
1	2	3	4	5
4/8	є/немає	К.ч.	$-2E-0,7t^2+0,0008t+0,741$	<u>0,9788</u>
			$-8E-0,71^{\wedge}+0,00171+0,7324$	0,9705
4/8	є/немає	Мпо*10 ³	$-8E-0,7t^2+0,003t+0,5608$	<u>0,9701</u>
			$-4E-0,61^{\wedge}+0,00771+0,5286$	0,9931
4/8	є/немає	Мпн*10 ³	$-2E-0,61^{\wedge}+0,01011+3,0584$	<u>0,9580</u>
			$-1E-0,51^{\wedge}+0,02261+3,9955$	0,9654
4/8	є/немає	Fe*10 ⁴	$-1E-0,6t^2+0,0083t+0,3027$	<u>0,9762</u>
			$-1E-0,5t^2+0,0225t+0,1524$	0,9765

Таблиця 4.9

Рівняння, що апроксимують індекс забрудненості Z PP
та коефіцієнт K_j їх протизношувальних властивостей

Номер верстата	Наявність контейнера	Показник	Апроксимуюче рівняння	Величина достовірності апроксимації
1	Є	Z*10 ³	2E - 0,6t ² + 0,0037t + 2,8697	0,9882
1	є	K _j	0,6719 e ^{-0,0005t}	0,9094
5	немає	Z*10 ³	5E - 0,6t ² + 0,008t + 2,9743	0,9679
5	немає	K _j	0,5967 e ^{-0,0012t}	0,7863
2	є	Z*10 ³	6E - 0,6t ² + 0,0017t + 3,0482	0,9952
2	Є	K _j	0,6348 e ^{-0,0006t}	0,8807
6	немає	Z*10 ³	1E - 0,6t ² + 0,0252t + 2,3391	0,9868
6	немає	K _j	0,5678 e ^{-0,0016t}	0,8483
3	є	Z*10 ³	1E - 0,6t ² + 0,0037t + 2,5729	0,9847
3	Є	K _j	0,7356 e ^{-0,0005t}	0,9318
7	немає	Z*10 ³	3E - 0,6t ² + 0,0162t + 2,9419	0,9861
7	немає	K _j	0,5398 e ^{-0,0013t}	0,7668
4	є	Z*10 ³	5E - 0,7t ² + 0,0055t + 2,6793	! 0,9897
4	є	K _j	0,6898 e ^{-0,0005t}	0,9036
8	немає	Z*10 ³	6E - 0,6t ² + 0,019t + 3,2189	0,9784
8	немає	K _j	0,505 e ^{-0,001*}	0,6687

Таблиця 4.10

Рівняння, що апроксимують залежності змінювання та швидкості падіння об'ємного ККД насосів

Номер верстата	Наявність контейнера	Апроксимуюче рівняння	Величина достовірності апроксимації	Швидкість падіння ККД за 1000 годин, *10 ⁵ од/год
5	немає	$y = -3E-08T^2 - 3E-05T + 0,963$	0,9599	6
1	є	$y = -5E-09T^2 - 2E-05T + 0,9657$	0,9513	2,5
6	немає	$y = -1E-08T^2 - 2E-05T + 0,9086$	0,9691	3
2	€	$y = -5E-09T^2 - 9E-06T + 0,9054$	0,9695	1,4
7	немає	$y = -5E-08T^2 + 4E-06T + 0,9254$	0,9773	4,6
3	є	$y = -6E-09T^2 - 8E-06T + 0,9227$	0,9787	1,4
8	немає	$y = -2E-08T^2 - 2E-05T + 0,8967$	0,9714	4
4	є	$y = -7E-09T^2 - 8E-06T + 0,8996$	0,9867	1,5

РР (бракувальний показник), то використовуючи рівняння, які наведено у табл.4.8 і прийнявши мінімально допустиме значення концентрації присадки ДФ-11, що дорівнює 0,4%, а також підставивши це значення у рівняння для РР з гідроприводів, які містять контейнери для дозованого уведення присадки, можна встановити, що строк служби РР у цьому випадку може бути продовжений у середньому до 1600 годин (мінімум), тобто в 1,6 рази. Решта показників фізико-хімічних властивостей РР через 1600 годин випробувань ще не досягли відповідних значень РР у контрольних гідроприводах через 1000 годин.

4.3. Висновки

1 .Спрацьовування присадки ДФ-11 у РР І-Г-С-32 при використанні її у гідроприводах верстатів відбувається за експоненційною залежністю. При цьому середня швидкість спрацьовування складає $7,65 \cdot 10^{-4}$ %/годину.

2 .Середній час спрацьовування присадки до мінімально допустимого значення концентрації (0,4%) складає приблизно 300 годин, що у 3,33 рази менше строку служби РР.

3.Застосування контейнера дозволяє підтримувати у РР концентрацію присадки нарівні 0,4% і вище. Це дає можливість підвищити зносостійкість вузлів тертя гідропривода (в тому числі гідронасосів по швидкості падіння об'ємного ККД в середньому в 2,6 рази, по наявності заліза у РР - у середньому в 1,66 рази, по концентрації механічних домішок неорганічного походження - у середньому в 1,33 рази, за величиною коефіцієнта K_j протизношувальних властивостей РР - у середньому в 1,42 рази). Одночасно при цьому підвищується чистота РР і знижується швидкість її окислення.

4 .Строк служби РР до заміни при застосуванні дозованого уведення присадки ДФ-11 може бути продовжений мінімум в 1,6 рази.

РОЗДІЛ 5

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ (НА ПРИКЛАДІ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ ВЕРСТАТІВ)

Результати проведених досліджень свідчать про те, що за рахунок дозованого уведення протизношувальної присадки ДФ-11 не менше ніж у 1,3 рази підвищується зносостійкість елементів гідропривода при одночасному продовженні строку служби РР не менше, ніж в 1,6 рази.

Для дозованого уведення присадки доцільно використовувати спеціальний контейнер, принципова схема якого наведена на рис. 1.11.

При виборі конструктивних розмірів контейнера, а отже, і його місткості, потрібно ураховувати об'єм РР у гідробаку привода, а також маги на увазі, що концентрація присадки ДФ-11 в РР повинна складати та постійно підтримуватися нарівні не нижче 0,4% від її об'єму. Крім того, для вибору параметрів вивільняючих капілярів (внутрішній діаметр, довжина та кількість) необхідно у кожному конкретному випадку знати швидкість спрацьовування присадки ДФ-11 в РР, керуючись методикою, що викладена у розділі 4. У залежності від значення швидкості спрацьовування присадки вибирається механізм дозованого уведення: за допомогою дифузії або за рахунок гідродинаміки. При цьому необхідно ураховувати, що від механізму вивільнення присадки залежить конструкція кришки контейнера: якщо уведення присадки здійснюється за рахунок дифузії, то у кришці контейнера відсутній повстинний фільтр і немає отвору. Контейнер повинен бути виготовлений з мастило стійкої пластмаси або з металу який би не впливав на фізико-хімічні властивості РР, зокрема, не інтенсифікував би її окислення. Встановлення контейнера та наповнення його новою порцією присадки бажано виконувати під час чергової заміни РР і фільтроелементів. Перед наповненням контейнера присадкою необхідно ретельно промити

його внутрішню порожнину та капіляри, після чого продути стисненим повітрям. Кількість присадки, яку потрібно залити у внутрішню порожнину контейнера, повинна забезпечувати постійну підтримку концентрації присадки в РР нарівні не менш ніж 0,4%.

Під час вибору оптимального місця встановлення контейнера потрібно керуватися не тільки зручністю монтажу, але й необхідністю забезпеченням постійного перемішування присадки з РР, що може бути досягнуто при встановленні контейнера на гідробаку між зливним та усмоктувальним трубопроводами, але якщо це неможливо, то його можна встановити на заливну горловину гідробака. При цьому потрібно дотримуватися умови: капіляр контейнера не повинен торкатися РР (при вивільненні присадки за допомогою гідродинаміки) або капіляр повинен бути постійно зануреним у РР (при дифузійному вивільненні присадки).

Ураховуючи результати досліджень та досвід експлуатації гідроприводів верстатів з контейнерами для дозованого уведення протизношувальної присадки ДФ-11, можна рекомендувати використання РР без заміни у 1,6 рази більше, ніж рекомендується заводами-виробниками гідроприводів. При цьому економічний ефект від упровадження контейнерів на парк верстатів буде складати 27519,3 грн. за 11 років експлуатації (див. додаток Б).

Слід відзначити, що засіб, який пропонується, для дозованого уведення присадок до РР можна використовувати не тільки у гідроприводах, але і у ДВЗ та інших агрегатах. Кількісні показники позитивного ефекту від цього заходу (підвищення зносостійкості деталей машин та строків служби ЗМ) можуть бути визначені експериментальним шляхом для конкретного агрегату з урахуванням його теплової та механічної навантаженості, марки та якості ЗМ, умов експлуатації і таке інше. Крім того, запропонований контейнер можливо використовувати для дозованого уведення будь-яких інших рідких присадок, а не тільки протизношувальних.

Наведемо приклад розрахунку параметрів контейнера на прикладі гідропривода. Припустимо, що бак гідросистеми верстата містить 125 кг РР, кількість присадки у ній складає 1% від об'єму, тобто 1,25 кг (1410 см³), швидкість спрацьовування (отже і швидкість дозованого уведення) присадки 7,89* 10⁴ %/год. Використовуючи (2.2), визначимо радіус капіляра, який необхідний для підтримки концентрації присадки у РР на протязі 1000 годин:

$$r = 4 \sqrt[4]{\frac{Q \cdot \delta \cdot \eta \cdot l}{\rho \cdot g \cdot h \cdot t}}, \quad (51)$$

де Q - кількість присадки, Q = 1,41* 10³ м³;

η] - динамічна в'язкість присадки, η] = 0,0125 Па*с;

l - довжина капіляра, l = 1* 10² м;

п - кількість капілярів, п = 1;

ρ - щільність присадки, ρ = 890 кг/м³;

g - прискорення вільного падіння, g = 9,81 м/с²;

h - середня висота присадки у контейнері, h = 16* 10² м;

t - час вивільнення присадки, t = 1000 год.

$$r = \sqrt[4]{\frac{1410 \cdot 0,0125 \cdot 1}{890 \cdot 9,81 \cdot 16 \cdot 10^2 \cdot 3600000}}$$

Якщо швидкість спрацьовування присадки при експлуатації РР мала, то принципово можна скористатися виразом (2.1), з якого визначається площа дифузії. Але для отримання потрібної швидкості вивільнення, яка необхідна для реальних умов (наприклад, 7,8* 10⁴ %/год) площа дифузії з виразу (2.1) виходить занадто великою, тобто контейнер буде магі великі розміри. Тому при визначенні параметрів контейнера слід орієнтуватись на Яі закон гідродинаміки.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

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

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

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

4.Теоретично обгрунтована можливість вивільнення присадки з контейнера з потрібного швидкістю.

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

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

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

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

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

10 .На підставі результатів досліджень розроблено практичні рекомендації щодо підвищення зносостійкості ПК.

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

*

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 .Альбощая А.Н., Альтшулер М.А., Апосталюк З.С., Венцель Е.С. и др.. Исследование смазывающих свойств гидравлических масел при дозированном вводе в них ионола *И* Трение и износ. - 1986. - Т.VII, №3. - С.560-563.
- 2 .Альтшулер М.А., Горбенко С.И. О дозированном вводе присадок в смазочные масла//Нефтепереработка и нефтехимия. - 1973. - № 5. - С.164-167.
- 3 .Альтшулер М.А.,Сисин В.Д., Горбенко С.И. и др. О выборе рационального способа использования присадок //Нефтепереработка и нефтехимия. - 1974. - №11. С. 52-54.
- 4 . Альтшулер М.А., Горбенко С.И. О влиянии диффузии на срабатываемость присадок//Нефтепереработка и нефтехимия. - 1975. - №18. - С.77-80.
- 5 .Альтшулер М.А., Сисин В.Д., Жартовский В.М. и др. Исследование эффективности дозированного ввода присадок в моторные масла // Нефтепереработка и нефтехимия. - 1977. - №15. - С.27-29.
- 6 .Альтшулер М.А. Срабатываемость и дозированный ввод присадок в моторных маслах *И* Нефтепереработка и нефтехимия. - 1978. - №16. - С.40-48.
- 7 .Альтшулер М.А., Виппер А.Б., Кириллова Л.И. и др. Срабатывание щелочных присадок в двигателях и моделирование этого процесса в лабораторных условиях // Химия и технология топлив и масел. - 1979. - №9. - С.22-24.
- 8 .Альтшулер М.А., Горбенко С.И., Апосталюк З.С. и др. Определение диффузионной проницаемости оболочек микрокапсул // Нефтепереработка и нефтехимия. -1981. - №20. - С.68-70.
- 9 .Альтшулер М.А., Венцель Е.С., Горбенко С.И., Клименко П.Л., Апосталюк З.С., Журба АС. Исследование дозированного ввода антиокислительной

присадки ионол в масла для гидравлических систем // Нефтепереработка и нефтехимия. - 1986. - №31. - С.62-65.

10 . Альтшулер М.А., Горбенко С.И. Срабатываемость и дозированный ввод присадок в моторные масла // Нефтепереработка и нефтехимия. - 1979. - №17.-С.93-96.

11 .Альтшулер М.А., Вишпер А.Б., Журба А.С. Кинетическое исследование и прогнозирование срабатываемости щелочных свойств моторных масел // Химия и технология топлив и масел. - 1980. - №10. - С.27-29.

12 .Альтшулер М.А., Сисин В.Д., Жартовский В.М., Журба А.С., Чермекин А.П., Чистякова И.Н., Малиновский В.Ю. Исследование эффективности дозированного ввода присадок в моторные масла // Нефтепереработка и нефтехимия. - 1977. - №15. - С.27-29.

13 .Альтшулер М.А., Апосталюк З.С., Кирилова Л.И., Журба А.С. и др. О дозированном вводе присадки МАСК // Нефтепереработка и нефтехимия. - 1988. -№34.-С.71-73.

14 .Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии: Пер. с англ. - М.: Машиностроение, 1986. - 360 с.

15 . Барышев В.И. Повышение надежности и долговечности гидросистем тракторов и дорожно-строительных машин. - Челябинск : Южно-Уральское кн. изд-во, 1973. - 100 с.

16 .Башта Г.М. Объемные гидравлические приводы. - М.: Машиностроение, 1969.- 628 с.

17 .Белов П.С., Парфенова В.А., Цыганкова О.Е., Буяновский И.А., Лихтеров С.Д. Связь между смазывающими и поверхностными свойствами серу-, фосфор-, азото содержащих присадок //Трение и износ. - 1993. - Т.14, №2. - С.354-358.

18 .Белянин П.Н., Данилов В.М. Промышленная чистота машин. - М.: Машиностроение, 1982. - 224 с.

- 19 .Березняков А.И., Венцель Е.С. Комплексная структурная приспособляемость трибосопряжений в аспекте теоремы И.Пригожина // Трение и износ. - 1993. - Т.14, №1. С.194-202.
- 20 .Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин. Справочник. - М.: Машиностроение, 1983. - 301 с.
- 21 .Венцель Е.С. Гранулометрический состав загрязнений, как один из факторов, определяющих противоизносные свойства масел //Трение и износ. - 1992.-Т. 13, N4. - С.683-688.
- 22 .Венцель Е.С. Коэффициент K_j как один из показателей противоизносных свойств масел. *И Тез. докл. Четвертой Московской науч.-техн. конф. «Триботехника - машиностроению»* -М.: Ин-т Машиноведения им. акад. Благонравова А.А.,1989. - С.70.
- 23 .Венцель Е.С., Гончаров В.Н., Евтушенко А.В. Методы повышения надежности строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин. Методические указания по дисциплине "Основы надежности СППРМ" для студентов специальности 1504. Харьков: ХарГАЖТ, 1995. - 35с.
- 24 .Венцель Е.С., Ливада Г.Ф., Альтшулер М.А. Дозированный ввод присадки "Ионол" с целью повышения сроков службы масел для гидроприводов //Весник машиностроения. - 1988. - №2. - С.38-40.
- 25 .Венцель Е.С., Ливада Г.Ф., Рябошапка В.М., Шильмовер М.Я. Исследование противоизносных свойств масел серии ИГП с помощью пластинчатых насосов //Трение и износ. - 1982. - Т.3, №6. - С.1031-1035.
- 26 .Венцель Е.С. Повышение износостойкости трибосопряжений гидродинамическим диспергированием масел: Дис. ... докт. техн, наук: 05.02.04. - Харьков , 1990. - 397 с.
- 27 .Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. - М.: Химия, 1979. - 240 с.
- 28 .Венцель С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания. - Киев: Техника, 1977. - 208 с. =%

- 29 .Ворожихина В.И., Рязанов Л.С., Вольский Э.П. и др. Выбор браковочных показателей масла *И* Химия и технология топлив и масел. - 1985. - №2. - С.42-44.
- 30 .Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. - М.: Химия, 1964. - 574 с.
- 31 .Гаркунов Д.Н. Триботехника. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с.
- 32 .Гатушкин А.А., Никитин Г.А., Головкин Ю.С. О загрязненности гидравлических систем // Вестник машиностроения. - 1968. - №5. - С.32-34.
33. Гидравлические системы транспортных самолетов /Ж.С. Черненко, Г.С. Лагосюк, Г.Н. Никульский, Б.Я. Швец. - М.: Транспорт, 1975. - 184 с.
- 34 .ГОСТ 17216-71. Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей. - Введ.01.07.73. - Изд-во стандартов, 1989. - 4 с.
- 35 .Григорьев Б.П. Новый режим смазки двигателей внутреннего сгорания. - Мурманск : Кн. изд-во. - 1966. - 60 с.
- 36 .Григорьев М.А., Долецкий В.А. Обеспечение надежности двигателей. - М.: Изд-во стандартов, 1977. - 324 с.
- 37 .Григорьев М.А., Пономарев Н.Н. Распределение размеров частиц загрязнений в рабочих жидкостях // Автомобильная промышленность. - 1981. - №9. - С.23-24.
- 38 .Григорьев М.А., Бунаков Б.М., Долецкий В.А. Качество моторного масла и надежность двигателя.-М.: Изд-во стандартов, 1981. - 232 с.
- 39 .Зорин В.А. Основы долговечности строительных и дорожных машин. - М.: Машиностроение, 1986. - 248с.
- 40 .Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. - М.: Химия, 1982. - 272 с.
- 41 .Коваленко В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел. - М.: Химия, 1978.- 304 с.
- 42 .Комаров А.А. Надежность гидравлических устройств самолетов. - М.: Машиностроение, 1976. - 224 с.

- 43 .Конакова С.А., Виноградова И.Э., Благовидов И.Ф. О взаимном влиянии присадок различного функционального назначения // Проблемы трения и изнашивания. - 1980. - № 17. - С.81-83.
- 44 .Кондаков Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем. - М.: Машиностроение, 1982. - 216 с.
- 45 .Кондаков Л.А., Никитин Г.А., Скрицкий ВЛ. Машиностроительный гидропривод. М.: Машиностроение, 1978. - 495 с.
- 46 .Коновалов В.М., Скрицкий ВЛ., Рокшевский В.А. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков. - М.: Машиностроение, 1975. - 286 с.
- 47 .Коровчинский М.В. Теоретические основы работы подшипников скольжения. - М.: Машгиз, 1959. - 403 с.
- 48 .Костецкий Б.И. Классификация видов поверхностного разрушения и общие закономерности трения и изнашивания *И* Вестник машиностроения. 1984. - №11.-С.10-12.
- 49 .Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. Поверхностная прочность материалов при трении. - Киев: Техника, 1976. - 296 с.
- 50 .Костецкий Б.И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания //Трение и износ. 1980. - Т.1, N4. - С.622-637.
- 51 .Костецкий Б.И. Трение, смазка, износ. - К.: Техника, 1970. - 396 с.
- 52 .Кочина Е.Г., Черпалова Т.М., Архипова Т.В. и др. Улучшение качества смазочных масел за счет дозированного ввода присадок *И* Тез. докл.научно-техн.конф. 24-29 мая 1987 г. «Теория и практика рационального использования горючесмазочных материалов рабочих жидкостей». - Челябинск, 1987. - С. 36
- 53 .Кулиев А.М., Сулейманов Ф.Т., Башаев В.Е. О рациональном использовании присадок к маслам //Присадки к маслам. - М.: Химия, - 1965. - С.265-272.

- 54 .Лашхи В.Л., Виппер А.Б., Шор И.Г., Лапин В.П. Выбор критерия оценки эффективности действия противоизносных присадок к маслам *И Химия и технология топлив и масел.* - 1978. - № 11. - С. 54-56.
- 55 .Лашхи В.Л., Марков А.А. Изучение адсорбции присадок к маслам на металле методом микроколориметрии // *Нефтехимия.* - 1974. - Т.14, №3. - С.491-492.
- 56 .Лашхи В.Л., Виппер А.Б., Ермолов Ф.Н., Кулагин В.В. Уравнение для определения эффективности противоизносного действия присадок к смазочным маслам *И Химия и технология топлив и масел.* - 1976. - №7. - С.52-53.
- 57 .Литвиненко С.Н., Прейс Г.А., Зырина Л.Г. Противоизносные и противозадирные присадки к маслам, предназначенным для эксплуатации в тропических условиях // *Проблемы трения и изнашивания.* - 1977. - № 11. - С. 97-98.
- 58 .Матвеев А.С. Влияние загрязненности масел на работу гидроагрегатов. М.: Россельмаш, 1976. - 48 с.
- 59 .Матвеев А.С. Оптимальная периодичность замены рабочей жидкости гидравлических систем тракторов // *Строительные и дорожные машины.* - 1971. - №5.-С.35-36.
- 60 .Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред: Пер. с англ. - М.: Мир,1974.-319 с.
- 61 .Микипорис Ю.А., Тимофеев М.Ю. Улучшение свойств рабочей жидкости гидросистем // *Вестник машиностроения.* - 1986. - №3, - С.24-26.
- 62 .Миронов Н.И., Кирилов Т.Н. Повышение надежности строительных машин. - Л.: Стройиздат, 1985. - 136с.
- 63 .Мичник Б.Х., Кононюк Б.Н., Венцель Е.С. Исследование смазывающих свойств гидравлических масел серии ИПП с различной степенью окисленности // *Трение и износ.* - 1986. - Т.7, №6. - С.1112-1115.

- 64 .Морозов Г.А., Арциомов О.М. Очистка масел в дизелях. - Л.: Машиностроение, 1971. - 192 с.
- 65 .Никитин Г.А., Баканов Е.А., Захарчук П.П., Захарчук В.П. Исследование гранулометрических характеристик загрязненности масел авиационных двигателей *И* Эксплуатационные свойства авиационных топлив, масел и специальных жидкостей. - Киев: КНИГА, 1973. - Вып.4 - С. 75-77.
- 66 .Никитин Г.А., Чирков С.В. Влияние загрязненности жидкости на надежность работы гидросистем летательных аппаратов - М.: Транспорт, 1969. - 184 с.
- 67 .Пасечников Н., Итинская Н., Хмелевой Н. Эффективность периодического добавления присадки в дизельное масло *И* Техника в сельском хозяйстве. - 1970. - № 1. - С. 47-50.
- бЯ.Петров И.В. Обслуживание гидравлических и пневматических приводов дорожно-строительных машин. - М.: Транспорт, 1985. - 168 с.
- 69 .Повышение износостойкости элементов гидропривода и сроков службы масел, путем дозированного ввода в них легирующих присадок и сорбентов. Методические рекомендации / Альбошья Л.Н..Альтшулер М.А., Апосталюк З.С. и др. - М.: ВНИИТЭМР, 1986. - 20 с.
- 70 .Подшипники из алюминиевых сплавов /Буше Н.А., Гуляев А.С., Двоскина В.А., Раков К.М. - М.: Транспорт, 1974. - 256 с.
- 71 -Подшипники скольжения. Расчет, проектирование, смазка / Н. Типей, В.Н. Константинеску, А. Ника, О. Бицэ. - Бухарест: Изд-во ак. РНР. - 1964. - 457с.
- 72 .Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на долговечность и надежность деталей машин. - М.: Машиностроение, 1970. - 312 с.
- 73 .Руднев В.К., Венцель Е.С., Лысиков Е.Н. Эксплуатационные материалы для строительных и дорожных машин. Учебное пособие. Киев ИСИО., 1993.

- 74 .Руднев В.К., Лазаренко В.И., Родин И.И. Моделирование и планирование экспериментов. - Красноярск, 1981. - 54 с.
- 75 .Руднев В.К., Лысиков Е.Н., Венцель Е.С. Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин. - Киев: УМК ВО, 1989.- 136 с.
- 76 .Руднев В.К., Лысиков Е.Н., Зайдман М.И., Панасовский В.А. Пост технического обслуживания гидропривода строительных и дорожных машин //Механизация строительства. - №1. - 1985. - С.23-24.
- 77 .Рыбаков К.В., Коваленко В.П. Фильтрация авиационных масел и специальных жидкостей. - М.: Транспорт, 1977. - 218 с.
- 78 .Сато Я., Сасани М. Влияние загрязнения рабочих жидкостей на характеристики гидравлических машин. //Гидравлика и пневматика. - 1975. - Вып. 14. - Сс 27-39.
- 79 .Система смазки двигателя внутреннего сгорания: А.с. 1015088 СССР: МКИ³ F 01 M 9/02 / В.Е. Ларин, В.П. Голованов, Ю.В. Даринский, М.П. Тищенко (СССР).
- 80 .Система смазки двигателя внутреннего сгорания: А.с. 1657678 СССР: МКИ⁵ F 01 M 9/02 / В.Н. Ищенко, Т.Д. Пуяткина (СССР).
- 81 . Система смазки двигателя внутреннего сгорания с источником сжатого воздуха: А.с. 1525293 СССР: МКИ⁴ F 01 M 9/02 /В.Н. Ищенко, Н.П. Николаев (СССР).
- 82 .Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Эксплуатация промышленных гидроприводов. - М.: Машиностроение, 1984. - 176 с.
- 83 .Снеговский Ф.П. Опоры скольжения тяжелых машин. - М.: Машиностроение, 1969. - 223 с.
- 84 .Снижение содержания нерастворенного воздуха в рабочих жидкостях гидросистем. Методические рекомендации / Аврунин Г.А., Венцель Е.С., Ливада Г.Ф. и др. - М.: ВНИИТЭМР, 1985. - 28 с.

- 85 .Способ получения микрокапсулированного ионола: А.с. 1518970 СССР: МКИ⁴ В 01 J 13/02 /М.А. Альтшулер, Н.А. Пасмурцева, З.С. Апосталюк и др. (СССР).
- 86 .Способ продления срока службы деталей трения и смазочных масел в процессе работы механизмов: А.с. 152601 СССР: Классы 48 Б, 1/04; 23 с, 1/01 МПК С 23 с, С 10 m /Б.П. Григорьев (СССР).
- 87 .Способ смазки двигателя внутреннего сгорания: А.с. 267247 СССР: Класс 46с¹, 2 МПК G 01 tn.. / Н.М. Хмелевой, С.Е. Васьковский, Н.С. Пасечников (СССР).
- 88 .Способ стабилизации масла: А.с. 823611 СССР: МКИ³ F 01 М 9/02 / Б.П. Григорьев, М.Н. Иванова, В.П. Калянов (СССР).
- 89 .Тетюхин В.И., Фрейманис В.Ж., Янсон В.М. Эксплуатация и ремонт шестеренных, аксиально-поршневых и пластинчатых насосов. - Л.: Стройиздат, 1974. - 183 с.
- 90 .Тимиркеев Р.Г., Соложников В.М. Промышленная чистота и тонкая фильтрация рабочих жидкостей летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1986. - 152 с.
- 91 .Токарь И.Я. Проектирование и расчет опор трения. - М.: Машиностроение, 1971. - 168 с.
- 92 .Устройство для подачи присадки в систему смазки двигателя внутреннего сгорания: А.с. 1265384 СССР: МКИ⁴ F 01 М 9/02 / Б.В. Нилов (СССР).
- 93 .Устройство для стабилизации свойств масла: А.с. 1149039 СССР: МКИ⁴ F 01 М 9/02 / Б.П. Григорьев, О.В. Рыжов, Д.А. Логинов, А.И. Арсентьев, Л.Н. Петров, М.И. Трейгер (СССР).
- 94 .Устройство для стабилизации свойства масла: А.с. 1247572 СССР: МКИ⁴ F 01 М 9/02 / Б.П. Григорьев, О.В. Рыжов, А.И. Арсентьев, Б.Н.Монахов, Л.Н. Петров, Т.И. Герасина (СССР).

- 95 .Устройство для стабилизации смазочного масла: А.с. 208377 СССР: Классы 46с¹, 2; 12g, 1/01 МПК F 02 f; В 01 j / Б.П. Григорьев, В.П. Коротненко, П.Л. Яковлев, Л.С. Давушкин, М.И. Лемисов (СССР).
- 96 .Устройство для стабилизации смазочного масла: А.с. 229096 СССР: Классы 46с¹, 2; 12g, 1/01 МПК F 02 f; С 07 с / Б.П. Григорьев, Н.А. Захаров, В.П. Коротненко, Н.А. Рыжов, Л.С. Давушкин, М.И. Лемисов (СССР).
- 97 .Федянин А.И. Выбор материалов для подшипников скольжения торфоразрабатывающих машин // Механика и физика контактного взаимодействия. - Калинин, 1981. -115 с.
- 98 .Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций: Пер. с англ. - М.: Атомиздат, 1972. - 599 с.
- 99 .Хмелевой Н.М. Влияние добавления присадки в масло на срок его службы в двигателе //Исследование старения масел в двигателях. - М. : Изд-во ЦНИИТЭНефтехим, 1968. - С. 71-82.
- 100 .Чернавский С.А. Подшипники скольжения. - М.: Машгиз, 1963. - 244 с.
- 101 .Addition of oxidation inhibitor to lubricating oil: Пат. 3749247 США: МКИ В 01 d 27/00 / Raymond Rohde (США).
- 102 .A Method of applying lubricants and/or lubricating adjuvants: Пат. 1452086 Великобритании: МКИ² С 10 М 7/02 7/04 7/06 7/16 .
- 103 .Bearing material employing frangible microcapsules containing lubricant: Пат. 4056478 США: МКИ² С 10 М 5/00; С 10 М 7/00; F 16 С 27/00 / Alfred J. Capelli (США).
- 104 .Container for oil-additive release: Пат. 4066559 США: МКИ² С 10 М 1/48 / Raymond Rohde (США).
- 105 .Encapsulated corrosion inhibitor: Пат. 3505244 США: МКИ С 09 к 3/02, 3/12; В 01 j 13/02 / John C. Cessna (США).
- 106-Fuels and lubricants containing inclusion compounds: Пат. 3314884 США: Cl. 252-10/Richard E. Cover (США).

107 .Method and means for maintaining an effective concentration of additives in oils: Пат. 3336223 США: Cl. 252-9 / Paul D. Kneeland (США).

108 .Method for restoring friction lubricative surfaces of machine parts: Пат. 3299952 США: Cl. 252-26 / Boris Petrovich Grigorjev (СССР).

109 .Procede de regeneration des surfaces frottantes de pieces de machines: Пат. 1370705 Франции: МКИ С 10 m - С 23 f/Boris Petrovich Grigorjev (СССР).

110 .Rust-inhibiting oil filter element: Пат. 3618784 США: МКИ В 01 d 39/00 / Walter W. Hellmuth Beacon , Raymond C.S ch light (США).

ДОДАТКИ

*

Додаток А

Результати математичної обробки

Таблиця А. 1

Результати математичної обробки даних зносу зразків при випробуваннях
на машині СМТ-1 (чотирьохшарикова схема тертя)

Стан ЗМ	$X^* \cdot 10^3$, м	$\langle Y_X^* \rangle \cdot 10^3$	$\sigma_X^* \cdot 10^3$	$A_X^* \cdot 10^3$	$V^* \cdot 10^2$	$8^* \gg 10^2$	t_d
1	2	3	4	5	6	7	8
І-Г-А-32							
Свіже	1,315	0,184	0,092	0,196	13,99	14,90	9,19
Свіже, додана присадка ДФ-11 (0,4%)	0,4386	0,0498	0,0249	0,053	11,35	12,09	
Свіже, додана присадка ДФ-11 (1,0%)	0,3678	0,0415	0,021	0,044	11,26	12,00	2,19
МГ-46-В							
Працювало 200 годин	0,525	0,052	0,026	0,055	9,90	10,55	3,75
Працювало 200 годин, додана присадка ДФ-11 (0,4%)	0,4042	0,038	0,019	0,040	9,40	10,01	
Працювало 200 годин, додана присадка ДФ-11 (1,0%)	0,3931	0,034	0,017	0,036	8,65	9,21	0,44
І-Г-С-32							
Працювало 2000 годин	0,8250	0,086	0,043	0,092	10,42	11,10	3,32
Працювало 2000 годин, додана присадка ДФ-11 (0,4%)	0,6478	0,063	0,0315	0,067	9,73	10,35	
Працювало 2000 годин, додана присадка ДФ-11 (1,0%)	0,4776	0,068	0,034	0,072	14,24	15,16	3,67

Примітка. При $n = 4$ та $a = 0,9$, $t_a = 2,13$ [74] $t^* < t_d$.

*

Таблиця А.2

Результати математичної обробки даних зносу зразків при випробуваннях
на машині СМЦ-2 (схема тертя - “колодка-ролик”)

Стан ЗМ	X^* * 10^2 , г	$<U_X^*$ • 10^3	σ_{Co}^* o	A_X^* ♦ 10^3	V^* * $ю^2$	δ_{o}^*	td
1	2	3	4	5	6	7	8
БрАЖ 9-4 І-Г-А-32, пара тертя — -..... Сталь 18ХГТ							
Свіже	7,61	<u>8,424</u>	<u>4,212</u>	<u>8,971</u>	<u>11,07</u>	<u>11,79</u>	<u>11,0</u> 7,75
	0,59	0,772	0,386	0,822	13,08	13,93	
Свіже, додана присадка ДФ-11	2,545	3,702	<u>1,851</u>	<u>3,943</u>	<u>14,55</u>	15,49	
	0,2425	0,457	0,229	0,487	18,86	20,09	
Працювало 300 годин	<u>9,34</u>	<u>8,52</u>	<u>4,26</u>	<u>9,07</u>	9,12	<u>9,71</u>	
	0,78	0,872	0,436	0,929	11,18	11,91	
Працювало 300 годин, дода- на присадка ДФ-11	<u>4,67</u>	4,08	<u>2,04</u>	<u>4,35</u>	<u>8,74</u>	<u>9,3</u>	<u>9,89</u> 7,16
	0,41	0,554	0,277	0,59	13,51	14,39	
БрАЖ 9-4 МГ-46-В, пара тертя Сталь 18ХГТ							
Працювало 200 годин	<u>5,44</u>	<u>4,734</u>	<u>2,367</u>	<u>5,042</u>	<u>8,702</u>	<u>9,268</u>	<u>2,26</u> 3,02
	0,5275	0,682	0,341	0,727	12,94	13,78	
Працювало 200 годин, додана присадка ДФ-11	<u>4,73</u>	4,096	<u>2,048</u>	<u>4,362</u>	<u>8,659</u>	<u>9,223</u>	
	0,4025	0,468	0,234	0,498	11,62	12,37	

Продовження табл. А.2

Стан ЗМ	$X^* \cdot 10^2, \text{г}$	$(Y_x^* \cdot 10^3)$	$\sigma_{\text{г}}^* \cdot 10^3$	$D_x^* \cdot 10^3$	$V_{\text{г}} \cdot 10^2$	$8^* \cdot \text{ГО}^2$	td
1	2	3	4	5	6	7	8
БрАЖ 9-4 І-Г-С-32, пара тертя							
Сталь 18ХГТ							
Працювало 2000 годин	<u>7,03</u>	<u>6,615</u>	<u>3,308</u>	<u>7,045</u>	<u>9,410</u>	<u>10,02</u>	
	0,5225	0,503	0,251	0,535	9,632	10,26	
Працювало 2000 годин, додана присадка ДФ-11	<u>6,032</u>	<u>6,179</u>	<u>3,089</u>	<u>6,581</u>	<u>10,24</u>	<u>10,91</u>	<u>2,21</u>
	0,4465	0,457	0,229	0,487	10,24	10,91	2,24
Сталь ШХ 15 І-Г-А-32, пара тертя							
Сталь ШХ 15							
Свіже	<u>0,4075</u>	<u>0,464</u>	<u>0,232</u>	<u>0,494</u>	<u>11,38</u>	<u>12,12</u>	
	0,5158	0,599	0,299	0,637	11,60	12,36	
Свіже, додана присадка ДФ-11	<u>0,2503</u>	<u>0,336</u>	<u>0,168</u>	<u>0,358</u>	<u>13,43</u>	<u>14,29</u>	<u>5,49</u>
	0,3275	0,431	0,215	0,459	13,15	14,01	5,11
Працювало 300 годин	<u>0,81</u>	<u>0,96</u>	<u>0,48</u>	<u>1,022</u>	<u>11,85</u>	<u>12,62</u>	
	0,90	0,988	0,494	1,052	10,98	11,69	
Працювало 300 годин, дода- на присадка ДФ-11	<u>0,29</u>	<u>0,45</u>	<u>0,225</u>	<u>0,479</u>	<u>15,51</u>	<u>16,53</u>	<u>9,81</u>
	0,38	0,512	0,256	0,545	13,47	14,34	9,35
МГ-46-В, паратер'				Сталь ШХ 15 гя			
				Сталь ШХ 15			
Працювало 200 годин	<u>0,6975</u>	<u>0,714</u>	<u>0,357</u>	<u>0,761</u>	<u>10,23</u>	<u>10,91</u>	
	0,4350	0,577	0,288	0,614	13,25	14,11	
Працювало 200 годин, додана присадка ДФ-11	<u>0,5950</u>	<u>0,606</u>	<u>0,303</u>	<u>0,645</u>	<u>10,18</u>	<u>10,84</u>	<u>2,19</u>
	0,3325	0,422	0,211	0,449	12,69	13,51	2,87

Продовження табл. А.2

Стан ЗМ	X^* * 10^2 , г	* 10^3	$<T^*$ \times * 10^3	Ax^* ♦ 10^3	y^* * 10^2	8^* ♦ 10^2	td
1	2	3	4	5	6	7	8
I-Г-С-32, пара терті				Сталь ШХ 15			
				1			
				Сталь ШХ 15			
Працювало 2000 годин	<u>0,3976</u>	<u>0,565</u>	<u>0,283</u>	0,602	<u>14,22</u>	<u>15,15</u>	2,46
	0,4145	0,507	0,253	0,539	12,22	13,02	
Працювало 2000 годин, додана присадка ДФ-11	<u>0,3072</u>	<u>0,469</u>	<u>0,234</u>	<u>0,499</u>	<u>15,26</u>	<u>16,25</u>	2,24
	0,3427	0,391	0,196	0,417	11,42	12,16	
I-Г-А-32, пар а тер				Чавун ВЧ			
				Т5Т			
				ІЛ			
				Сталь 38ХС			
Свіже	<u>6,98</u>	<u>14,75</u>	<u>7,377</u>	<u>15,71</u>	<u>21,14</u>	<u>22,51</u>	4,54
	0,75	0,918	0,459	0,978	12,24	13,03	
Свіже, додана присадка ДФ-11	3,42	<u>5,295</u>	<u>2,647</u>	<u>5,639</u>	15,48	<u>16,49</u>	7,67
	0,32	0,644	0,322	0,686	20,12	21,43	
Працювало 300 годин	<u>8,78</u>	<u>9,54</u>	<u>4,77</u>	10,16	<u>10,87</u>	11,57	7,15
	0,92	0,987	0,494	1,051	10,73	11,43	
Працювало 300 годин, дода- на присадка ДФ-11	4,69	<u>6,31</u>	3,16	6,72	13,45	<u>14,33</u>	6,64
	0,51	0,743	0,372	0,791	14,57	15,52	
МГ-46-В, пара тер				Чавун ВЧ			
				ТЯ			
				І/І			
				Сталь 38ХС			
Працювало 200 годин	<u>5,13</u>	<u>5,654</u>	2,827	<u>6,022</u>	11,02	11,74	2,18
	0,531	0,536	0,268	0,571	10,10	10,75	
Працювало 200 годин, додана присадка ДФ-11	4,34	<u>4,582</u>	2,261	4,816	<u>10,42</u>	<u>11,09</u>	3,81
	0,391	0,502	0,251	0,535	12,84	13,67	

Продовження табл. А.2

Стан ЗМ	X^* * 10^2 , г	$<Y_X^*$ ♦ 10^3	$6\Gamma^*$ ♦ 10^3	A_X^* * 10^3	V^* ♦ 10^2	S^* ♦ 10^2	t_a
1	2	3	4	5	6	7	8
Чавун ВЧ							
І-Г-С-18, пара тертя-----							
Сталь 38ХС							
Працювало 2000 годин	<u>6,58</u>	<u>7,523</u>	<u>3,762</u>	<u>8,012</u>	<u>11,43</u>	<u>12,18</u>	<u>2,22</u> 3,06
	0,588	0,617	0,309	0,658	10,5	11,18	
Працювало 2000 годин, додана присадка ДФ-11	<u>5,44</u>	<u>6,977</u>	<u>3,489</u>	<u>7,431</u>	<u>12,83</u>	<u>13,66</u>	
	0,462	0,544	0,272	0,579	11,78	12,54	

Примітка. При $n = 4$ $t_{aa} = 0,9$, $U = 2,13$ [74] $t_a < t_a$.

Таблиця А.3

Результати математичної обробки даних за коефіцієнтом тертя при
випробуваннях на машині СМЦ-2

Стан ЗМ	x	OGx^* $* 10^3$	$сг \blacklozenge$ $* 10^3$	$Дx^*$ $* 10^3$	$V \blacklozenge$ $\blacklozenge 10^2$	8^* $* 10^2$	td
1	2	3	4	5	6	7	8
БрАЖ 9-4 І-Г-А-32, пар а тертя ----- Сталь 18ХГТ							
Свіже	0,0106	1,8	0,9	1,917	16,98	18,08	4,87
Свіже, додана присадка ДФ-11	0,0058	0,8	0,4	0,852	13,79	14,69	
Працювало 300 годин	0,0146	1,92	0,96	2,045	13,15	14,01	6,94
Працювало 300 годин, дода- на присадка ДФ-11	0,0072	0,93	0,465	0,99	12,92	13,76	
Браж 9-4 МГ-46-В, пара тертя ----- Сталь 18ХГТ							
Працювало 200 годин	0,0114	0,914	0,457	0,973	8,02	8,54	2,38
Працювало 200 годин, додана присадка ДФ-11	0,0099	0,865	0,433	0,921	8,74	9,31	

Продовження табл. А.3

Стан ЗМ	-АГ	* 10 ³	£Г * * 10 ³	Дх * ◆ 10 ³	V * * 10 ²	8* * 10 ²	td
1	2	3	4	5	6	7	8
Браз 9-4							
<small>попо тдпта</small> <small>x/ ** **> 11 <* 1 1 лт</small>							
Сталь 18ХГТ							
Працювало 2000 годин	0,011	1,099	0,549	1,17	9,9	10,64	2,99
Працювало 2000 годин, додана присадка ДФ-11	0,0089	0,876	0,438	0,933	9,843	10,48	
Сталь ІІХ 15 І-Г-А-32, пар а тертя							
Сталь ЕЦХ 15							
Свіже	0,08	11,84	5,92	1,261	14,8	15,76	3,04
Свіже, додана присадка ДФ-11	0,0583	7,976	3,988	8,494	13,68	14,57	
Працювало 300 годин	0,096	11,15	5,575	11,87	11,61	12,37	3,2
Працювало 300 годин, дода- на присадка ДФ-11	0,073	9,06	4,53	9,64	12,41	13,22	
Сталь ІІІХ 15							
<small>МГ .ІА.П ПОПО ТАпта</small> <small>.-rv-ju#,</small>							
Працювало 200 годин	0,0494	5,573	2,787	5,935	11,28	12,01	2,71
Працювало 200 годин, додана присадка ДФ-11	0,0393	4,967	2,484	5,29	12,64	13,46	

Продовження табл. А.3

Стан ЗМ		C^*x^* $* 10^3$	$\text{£Г}_-\blacklozenge$ $* 10^3$	Дх^* $\blacklozenge 10^3$	V^* $* 10^{-2}$	8^* $\blacklozenge 10^2$	td
1	2	3	4	5	6	7	8
Сталь ШХ 15 І-Г-С-32, пара тертя - - Сталь ШХ 15							
Працювало 2000 годин	0,0804	8,278	4,139	8,816	10,29	10,97	2,21
Працювало 2000 годин, додана присадка ДФ-11	0,0683	7,189	3,595	7,656	10,53	11,21	
Чавун ВЧ Т_Г_Л_2_0 пАпатопта _____ ЖХ J UU£J Ur Сталь 38ХС							
Свіже	0,0692	12,16	6,08	12,95	17,57	18,71	2,18
Свіже, додана присадка ДФ-11	0,051	11,44	5,72	12,18	22,43	23,89	
Працювало 300 годин	0,076	9,57	4,785	10,19	12,59	13,41	2,21
Працювало 300 годин, дода- на присадка ДФ-11	0,062	8,31	4,155	8,85	13,4	14,27	
Чавун ВЧ папо т.пто _____ • V JLZ, ІЖи^ІЖ Ж Ж Л							
Працювало 200 годин	0,0309	4,054	2,027	4,318	13,119	13,97	5,13
Працювало 200 годин, додана присадка ДФ-11	0,0194	1,922	0,961	2,047	9,907	10,55	

Продовження табл. А.3

Стан ЗМ	X	$* 10^3$	$a \blacklozenge$ $* 10^{+3}$	Lx^* $* 10^{+3}$	V^* $* 10^2$	8^* $* 10^2$	t_d
1	2	3	4	5	6	7	8
Чавун ВЧ							
І-Г-С-32, пара тертя							
Сталь 38ХС							
Працювало 2000 годин	0,0412	5,102	2,551	5,434	12,384	13,188	2,37
Працювало 2000 годин, додана присадка ЛФ-11	0,0328	4,932	2,466	5,253	15,037	16,014	

Примітка. При $\pi = 4$ та $a = 0,9$, $V = 2,13$ [74] $t^* < t_d$.

Додаток Б

Розрахунок економічного ефекту від застосування контейнера для дозованого уведення присадок (тільки за рахунок економії робочої рідини)

Головним економічним показником роботи підприємства в умовах ринкової економіки є прибуток, зростання якого забезпечується як збільшенням обсягу і покращенням якості продукції, так і скороченням експлуатаційних затрат.

У відповідності з результатами експлуатаційних випробувань застосування контейнера для дозованого уведення присадок поліпшує протизношувальні властивості РР, за рахунок чого підвищується зносостійкість вузлів тертя та подовжуються строки їх служби.

Таблиця Б. 1

Кошторис затрат на виготовлення контейнера
для дозованого уведення присадки

Стаття витрат	Сума, грн
1 .Сировина та матеріали	20,0
2.Заробітна плата	5,0
3.Нарахування на заробітну плату 47,5%	2,4
4.Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	8,5
5.Накладні витрати	
Разом:	45,0

Примітка. Розрахунок витрат проведено для одного контейнера.

*

Таблиця Б.2

Розрахунок поточних та одноразових затрат

Варіант з дозованим уведенням присадок											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Рік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Парк верстатів, шт.	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Норма витрати РР на 1 верстат нарік, л	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Норма витрати РР на парк верстатів на рік, л	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
Норма витрати присадки на 1 верстат, л	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

Продовження табл.Б. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Норма витрати РР на 1 верстат на рік, л	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Норма витрати РР на парк верстатів на рік, л	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Затрати на РР для 1 верстата, грн.	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375
Затрати на РР для парка верстатів, грн.	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750

Продовження табл.Б. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Одноразові затрати для парка верстатів, грн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумарні затрати по роках, грн.	6250	6250	6250	6250	6250	6250	6250	6250	6250	6250	6250
Коефіцієнт приведення результатів і затрат до розрахункового року	1,0000	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855

Продовження табл.Б.2

Сумарні затрати, приведені до розрахункового року	6250,0	5681,9	5165,0	4695,6	4268,8	3880,6	3528,1	зад	2915,6	2650,6	2409,4
---------------------------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----	--------	--------	--------

Примітка. Для розрахунків економічного ефекту використовувалась методика, яка надана у методичному посібнику: Оценка экономической эффективности инвестиций в мероприятия научно-технического прогресса: Учеб.-метод. пособие / Е.И.Балака, И.Г.Бойко, В.Л.Дикань, Д.И.Ковалев / Под ред. В.Л.Диканя. - Харьков: Основа, 1995.-76 с.

Таблиця Б.3

Розрахунок економічного ефекту від виготовлення та експлуатації
контейнера для дозованого уведення присадок

Рік	Коефіцієнт приведення результатів і затрат до розрахункового року	Сумарні затрати, приведені до розрахункового року, грн.		Економія затрат, грн.
		зі штатним гідро приводом	з дозованим уведенням присадок	
1	1,0000	6250,0	2400,0	3850
2	0,9091	5681,9	1712,7	3969,2
3	0,8264	5165,0	1611,5	3553,5
4	0,7513	4695,6	1465,0	3230,6
5	0,6830	4268,8	1331,9	2936,9
6	0,6209	3880,6	1210,8	2669,8
7	0,5645	3528,1	1100,8	2427,3
8	0,5132	3207,5	1000,7	2206,8
9	0,4665	2915,6	909,7	2005,9
10	0,4241	2650,6	827,0	1823,6
11	0,3855	2409,4	739,4	1670,0
Разом:	7,1445	44653,1	14369,5	30283,6

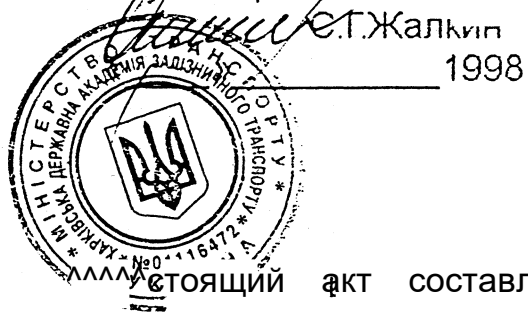
З результатів розрахунків видно, що виготовлення та експлуатація контейнера для дозованого уведення присадок у гідроприводах верстатів дозволить протягом 11 років, тобто за період їх списання, зберегти ресурсів на суму 30283,6 грн (тільки за рахунок економії РР).

Кінцевий економічний ефект, пов'язаний не тільки з економією РР, але і з підвищенням зносостійкості вузлів тертя, зокрема ПК, може бути розрахований стосовно до конкретних умов навантаження, змащування, температури, стану навколишнього середовища та інше.

Додаток В
Акти, патент, рішення

*

утверждаю
Троректор ХарГАЖТ по
научной работе, профессор



АКТ ИСПЫТАНИЙ

Настоящий акт составлен в том, что в соответствии с договором между заводом ОАО «Электромаш» и ХарГАЖТ были проведены эксплуатационные испытания станков с гидроприводом (инвентарные номера 42106, 42318, 42113, 42398, 42443, 42324, 42006, 42442).

В гидросистемы станков 42106, 42318, 42113, 42398 были стационарно встроены контейнеры для дозированного ввода присадок, а станки 42443, 42324, 42006, 42442 являлись контрольными и работали с серийными гидросистемами. Перед началом испытаний отработанные рабочие жидкости были слиты, гидросистемы тщательно промыты и заправлены свежей рабочей жидкостью И-Г-С-32.

Периодически по специальной схеме производился отбор проб масла для проведения физико-химического анализа по следующим показателям:

концентрация присадки;

кислотное число;

содержание механических примесей органического и неорганического происхождения;

содержание железа.

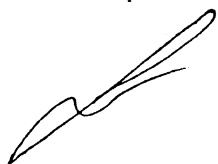
В станках 42443, 42324, 42006, 42442 замена масла была проведена через 1000 часов в соответствии с руководствами по эксплуатации станков. В гидросистемах станков с контейнером через 1000 часов масла не заменялись. При этом степень пригодности их к дальнейшей эксплуа-

Результаты анализов проб масла И-Г-С-32

Номер станка	Наработка, час	Кислотное число, мгКОН/г	Концентрация присадки, %	Содержание железа, % * 10 ¹⁴	Содержание механических примесей. °о*]0 ¹⁴	
					неорганического происхождения .	органического происхождения
42106/42443	2062/1006	1,38/1,62	0,314/0,083	8,85/10,24	12,6/12,5	3,81/4,22
42318/42324	2051/1032	1,31/1,51	0,32/0,19	9,13/11,51	15,6/13,2	5,47/5,81
42113/42006	2005/1012	1,36/1,56	0,311/0,103	9,35/11,7	16,22/16,9	3,62/5.36
42398/42442	2008/1001	1,59/1,62	0,502/0,056	12,24/13,16	16,33/14,05	3,48/4. Ī2

От ХарГАЖТ

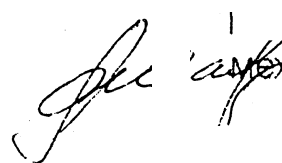
Старший преподаватель



А. В. Евтушенко

От ОАО «Электромаш

Нальник ремонтно-механического участка
Р.М.Шаломаев



тации оценивалась по результатам анализа проб и сравнения пзИЙзатель качества с маслами в контрольных станках.

Результаты анализов проб масел, отобранных в конце испытаний, представлены в таблице.

Из приведенных данных следует, что значения концентрации присадки масла в гидросистемах станков 42106, 42318, 42113, 42398 после эксплуатации их более 2000 часов оказались больше, чем в контрольных станках 42443, 42324, 42006, 42442. Величина кислотного числа масла И-Г-С-32, содержание железа и механических примесей (неорганического и органического происхождения) оказались большими в гидросистемах контрольных станков.

Меньшее значение содержания железа в маслах станков 42106, 42318, 42113, 42398 свидетельствует о том, что скорость изнашивания элементов гидросистем при использовании контейнера для дозированного ввода присадок уменьшается.

Применение контейнера в гидросистемах станков позволяет продлить срок службы масла И-Г-С-32 в 1,6 - 1,8 раза (по данным таблицы) при одновременном уменьшении интенсивности изнашивания пар трения.

На основании результатов эксплуатационных испытаний принято решение внедрить контейнер для дозированного ввода присадок в масла в гидроприводы станков ОАО «Электромаш».

ОтХарГАЖТ

Старший преподаватель

А.В.Евтушенко

От ОАО «Электромаш»

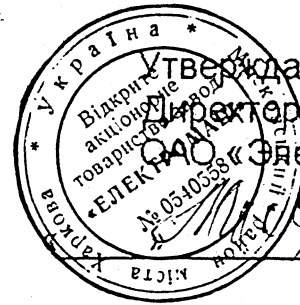
Начальник ремонтно-механического участка
Р.М.Шаломаев

*Копію завідувачу,
Великий секретар,
спеціалізованої
Всесоюзної ради
№ 64, 050, 10*



28.05.93

Утверждаю
Проректор ХарГАЖТ по
научной работе, профессор
С.Г.Жалкин
1998 г.



170

АКТ

внедрения в промышленность результатов
научно-исследовательской работы по теме
8/4-96Б по улучшению свойств масел при
применении в системах гидропривода
дозирующих устройств

Работа выполнена кафедрой «Строительные, путевые и погрузочно-разгрузочные машины» ХарГАЖТ.

Цель работы - повышение сроков службы минеральных масел в гидрофицированном станочном оборудовании за счет применения в гидравлических системах дозированного ввода присадок..

Мы, представители ОАО «Электромаш» и ХарГАЖТ, настоящим актом подтверждаем, что в гидросистемах станков (инвентарные номера 42106, 42318, 42113, 42398) внедрен метод дозированного ввода присадок с помощью контейнера.

На протяжении эксплуатации станков, проработавших 2000 часов с контейнером для дозированного ввода, велись наблюдения за состоянием минерального масла в гидросистемах. Установлено, что в сравнении с аналогичными станками, проработавшими 1000 часов с серийными гидроприводами (инвентарные номера 42443, 42324, 42006, 42442) минеральное масло И-Г-С-32 имеет:

- большую концентрацию присадки (минимум в 2 раза);
- меньшую величину кислотного числа (в среднем в 1,15 раза);

меньшую концентрацию механических примесей и железа ¹¹¹
(соответственно в 1,33 и 1,66 раза);

более высокий класс чистоты по ГОСТ 17216-71.

Полученные результаты анализа масел свидетельствуют о том, что масло, работавшее с контейнером для дозированного ввода присадки, обладает лучшими эксплуатационными свойствами и его срок службы может быть увеличен в 1,6-1,8 раза.

На основании изложенного считаем целесообразным перевести весь парк гидрофицированных станков на работу с контейнером для дозированного ввода присадки.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения контейнера для дозированного ввода в гидросистемах станков по фактору увеличения срока службы масла составляет в среднем 500 грн в год на один станок.

От ХарГАЖТ

Старший преподаватель

А. В. Евтушенко

От ОАО «Электромаш»

Начальник ремонтно-

механического участка

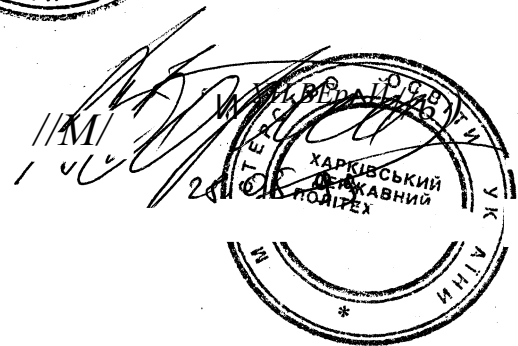
Р.М.Шаломаяев



длинным верно
Мизм хилзм -7-

1

> Іл. поітв...
ім секретар
іані до канці
IM&C м
(&. 6 < 6 9,10



В. Боргови

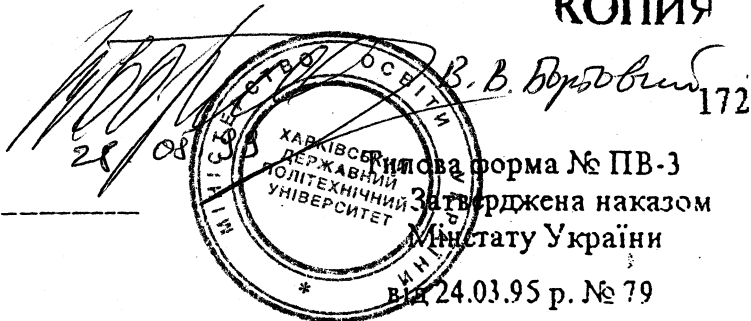
*

до засвідчує;
пешим секретар
недіяльність
зеної родині \$64.050,10

КОПІЯ

ВАТ "Електромаш"

підприємство, організація

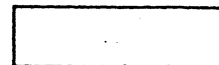


Ідентифікаційний

код ДРЗОУ

05405581

по УКУД



АКТ ПРО ВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОМИСЛОВОЇ ВЛАСНОСТІ
(ВИНАХОДУ, КОРИСНОЇ МОДЕЛІ, ПРОМИСЛОВОГО ЗРАЗКА)

- 02 - червня

1999р.

Назва і номер охоронного документа патент №21514А, зареєстрований у

Держреєстрі України 30.04.98р. Бюл. №2

Назва винаходу, корисної Моделі або промислового зразка Пристрій ДЛЯ подачі

присадки у моторні мастила -та робочи рідини

Підприємство (організація, об'єднання), де використано об'єкт:

ВАТ "Електромаш"

Технічний об'єкт, в якому використано винахід, корисну модель або промисловий зразок згідно з формулою винаходу чи корисної моделі або згідно із сукупністю суттєвих ознак промислового зразка, зображених на фотографії вибору Гідропривод д

металообробних верстатів

Дата початку використання "

Керівник підприємства,
організації, установи

начальник ремонтно-

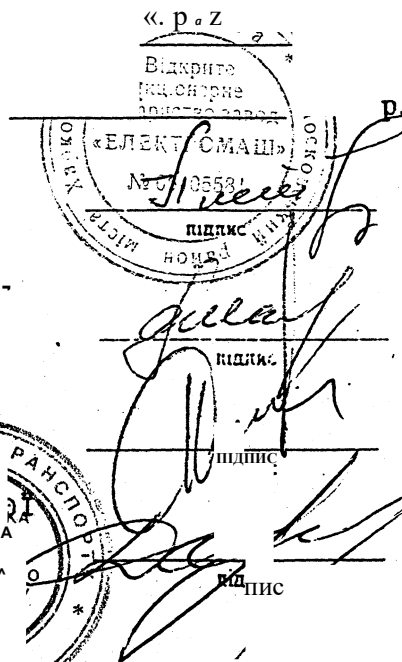
Члени комісії механічної дільниці

начальник**з борочної
дільниці

посада

начальник

дільниці



О.І.Костін
прпьеде

Н.М.Шаломасев

В.В.Санін

прпзьихе

В.Д.Дівулін

прпвхше

С подлинным

верн<' ?



ДЕРЖПАТЕНТ

УКРАЇН

(19) UA

an 21514 A

(51)6F01M

ПАТЕНТ
на винахід

зарєєстровано вiдповiдно
до Постанови Верховної Ради України
вiд 23 грудня 1993 року № 3769-XII



Голова Держпатенту України

В. Петров

(21) 95062640

(22) 05.06.95

(24) 16.12.97

(47) 16.12.97

(72) Альтшулер Марк Аврамович, Березняков Артур Іванович, Венцель Євген
Сергійович, Євтушенко Андрій Вікторович

(73) Харківська державна академія залізничного транспорту, UA

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПОДАЧІ ПРИСАДКИ У МОТОРНІ МАСТИЛА ТА РОБОЧІ
РІДИНИ

00
УКРАЇНА



"Z5~"

1998р.

РІШЕННЯ

Держпатент України розглянув заяву власника патенту

Харківської державної академії залізничного транспорту,

(прізвище, ім'я, по батькові фізичної особи або повне офіційне найменування)

310050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7

(юридичної особи, її адреса)

щодо реєстрації договору про передачу права власності на винахід і прийняв рішення зареєструвати договір, відповідно до якого право власності на винахід

"Пристрій для подачі присадки у моторні мастила та робочі рідини"

(назва винаходу)

Патент України №

21514A

передається

Відкритому акціонерному товариству "Електромаш",

(прізвище, ім'я, по батькові фізичної особи або повне офіційне найменування)

310031, м. Харків, вул. Академіка Павлова, 82

(юридичної особи, якій передається право власності на винахід, її адреса)

Реєстраційний номер <5

Дата реєстрації

Голова Держпатенту України
М.П.



В.Л.Петров



ПОДЛИННЫМ ВЕРНО

Юр. канцелярія
ХарДАСТ

1/10/98
02.10.98