

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ПРИЙМАК Людмила Борисівна

УДК 629.083

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ПРЕЦИЗІЙНИХ ПАР ЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВОК АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ
МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЗМАЩЕННЯ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент

Салімов Ринат Мартинович

Київ - 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РЕСУРС ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАУКОВОГО НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1. Вплив ресурсу на експлуатаційну надійність енергетичних установок авіаційної наземної техніки	9
1.2. Експлуатаційна надійність і ресурс прецизійних пар.....	18
1.3. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи систем змащення	20
1.4. Аналіз властивостей та характеристик олив, що використовуються в енергетичних установках авіаційної наземної техніки.	24
1.5. Модифікування олив обробленням їх магнітним полем	26
1.6. Визначення цілей та постановка завдань наукового дослідження.....	30
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
2.1. Фактори визначення ресурсу аксіально-поршневого насоса	32
2.2. Концептуальна модель зносу за умов впливу магнітного поля на мастильний матеріал	38
2.3. Метод визначення характеристик процесу зміни експлуатаційних властивостей моторної оливи	40
2.4. Метод визначення залежності зміни технічного стану робочих поверхонь від часу напрацювання та параметрів магнітного оброблення оливи	43
2.5. Підготовка матеріалів для експериментальних досліджень і прилади для вивчення та оброблення результатів	49
2.6. Математичне моделювання експериментальних досліджень.....	51
2.7. Аналіз змінювання характеристик олив та робочих поверхонь під дією постійного магнітного поля	56
Висновки до розділу II	66
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	67
3.1. Дослідження впливу магнітного поля на експлуатаційні характеристики олив	67

3.2.	Дослідження експлуатаційних параметрів сталей в оброблених магнітним полем змащувальних середовищах	70
3.3.	Керування ХАДО-присадками дією магнітного поля для підвищення ресурсу робочих поверхонь під час експлуатації	86
3.4.	Оптимізація технічного стану робочих поверхонь під дією магнітного поля на мастильний матеріал із вмістом нанопорошків різної магнітної природи	92
	Висновки до розділу III.	106
РОЗДІЛ 4. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗМАЩУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА		108
4.1.	Розроблення рекомендацій щодо застосування методу підвищення протизносних властивостей оливи магнітним полем у процесі експлуатації.....	108
4.2.	Закономірності підвищення ресурсу прецизійної пари при дії магнітного поля на мастильний матеріал із вмістом нанопорошків з різною магнітною характеристикою	113
	Висновки до розділу IV	118
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ		119
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.		121
ДОДАТКИ.		131

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АНТ	– авіаційна наземна техніка
АПН	– аксіально-поршневий насос
ЕУ	– енергетична установка
ЕУАНТ	– енергетична установка авіаційної наземної техніки
ММ	– мастильний матеріал
МП	– магнітне поле
ОК	– об'єкт контролю
ПС	– повітряне судно
ТС	– технічний стан

ВСТУП

Актуальність теми. Енергетична установка (ЕУ) є важливою частиною авіаційної наземної техніки (АНТ), завдяки якій забезпечується робота всіх основних функцій АНТ, тому її технічний стан впливає не тільки на експлуатаційну надійність АНТ, але й безпосередньо пов'язаний з питанням забезпечення безпеки польотів.

Значна частина позапланових зупинок АНТ спричиняється виходом з ладу елементів системи змащення ЕУ АНТ, які становлять понад 20 % від загальної кількості відмов, зокрема відмовами нагнітального насоса, підшипників кочення, відкачувальних насосів. Через наднормативний знос пар «поршень-циліндр» при напруженні близько 4000 мотогодин до 70 % з них підлягає заміні. З урахуванням позапланових простоїв АНТ, річні збитки хендлінгових компаній становлять сотні тисяч гривень.

Проблемі підвищення рівня експлуатаційної надійності прецизійних пар присвячено значну кількість спеціальних досліджень. Більшість з них присвячено зниженню інтенсивності зношування робочих поверхонь, застосуванню різноманітних комплексів антифрикційних присадок та модифікації оливи впливом різних фізичних полів. Ці дослідження дали змогу частково вивчити вказану проблему, проте значна її частина ще потребує вирішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає тематиці Транспортної стратегії України на період до 2020 р., Концепції державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2020 р. Постанові Кабінету Міністрів України № 243 від 01.03.2010р. Робота виконувалася згідно з планом наукових досліджень Національного авіаційного університету за темами: «Управління та підвищення ресурсу авіаційної наземної техніки» НДР №38/07.02.06, Національний авіаційний університет, кафедра технологій аеропортів; «Розробка технологій формування поверхневих шарів деталей авіаційної техніки та дослідження їх триботехнічних характеристик» №718ДБ-11, Національний авіаційний університет, кафедра технологій виробництва та відновлення авіаційної техніки.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є вирішення науково-прикладного завдання створення методів та засобів управління ресурсом ЕУ АНТ.

Для досягнення цієї мети передбачено вирішення таких **завдань**:

– провести аналіз існуючих методів управління ресурсом ЕУ АНТ та визначити основні фактори, які істотно впливають на її надійність в умовах експлуатації в аеропорту;

– установити закономірність розподілу навантажень та особливості мастильного режиму на робочих поверхнях прецизійних пар, що використовуються в ЕУ АНТ залежно від умов їх експлуатації;

– дослідити закономірність зміни експлуатаційних властивостей оливи, що використовуються у сучасних ЕУ АНТ;

– установити залежність зміни напрацювання до граничного стану прецизійної пари «поршень-циліндр» нагнітального насоса системи змащення ЕУ АНТ від технології оброблення оливи магнітним полем (МП);

– обґрунтувати технологію модернізації системи змащення ЕУ АНТ з метою управління її ресурсом та підвищення економічності витрачання оливи.

Об'єкт дослідження: процес впливу основних експлуатаційних факторів на показники роботи системи змащення ЕУ АНТ.

Предмет дослідження: ресурс прецизійних пар системи змащення ЕУ АНТ.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження ґрунтуються на методі аналізу та узагальнення результатів досліджень, присвячених ресурсу авіаційної наземної техніки; у розрахунках застосовано методи класичної фізики, механіки, триботехніки, теорії ймовірностей.

Під час проведення експериментальних досліджень використано методи планування експерименту, інструментального контролю, діагностичних перевірок, математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання створення та удосконалення методів та засобів управління ресурсом ЕУ АНТ шляхом визначення характеру зміни експлуатаційних характеристик оливи під впливом постійного МП різної конфігурації.

Уперше:

– розроблено метод визначення характеристик процесу зміни експлуатаційних властивостей оливи, що використовуються у системі змащення ЕУ АНТ, що дає можливість прогнозувати технічний стан робочих поверхонь;

– розроблено метод визначення залежності зміни технічного стану прецизійних пар «поршень-циліндр» нагнітального насоса системи змащення ЕУ АНТ від часу її напрацювання та параметрів магнітного оброблення оливи, що дозволяє підвищити ресурс агрегату.

Дістали подальшого розвитку:

– експериментальні дослідження впливу МП на експлуатаційні властивості оливи, що дозволило перевірити ефективність розроблених методів модернізації системи змащення ЕУ АНТ.

Практичне значення отриманих результатів. У результаті практичних досліджень методів:

– розроблено та впроваджено спосіб оцінки енергоінформаційного стану рідинно-фазних вуглецевих матеріалів у МП та дослідження робочих поверхонь тертя в постійному рівномірному та нерівномірному МП (пат. № 36600, пат. № 81368, пат. № 70877 Україна);

– розроблено спосіб управління ресурсом прецизійних пар шляхом обробки робочої рідини постійним МП (пат. № 70878 Україна);

– результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету під час вивчення навчальної дисципліни «Експлуатація авіаційної наземної техніки та технологічного обладнання аеропорту» та у виробництво ВАТ «ТЕМП» (м. Хмельницький).

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи отримано автором самостійно. Постановка завдань та обговорення результатів виконані сумісно з науковим керівником. Без співавторів опубліковано роботи [81, 85], у яких автором визначено вплив МП на експлуатаційні характеристики вузлів тертя, механізм структуроутворення, мастильний матеріал, інтенсивність зношування робочих поверхонь та досліджено вплив МП на їх властивості. Основний внесок

здобувача в роботах написаних у співавторстві полягає в наступному: [63] – визначення змін робочих поверхонь; [61] – дослідження топографії та перетворення робочих поверхонь під впливом МП без змащування; автором встановлено експлуатаційні характеристики сталей в оливах оброблених МП [6, 41, 62, 80] та досліджено інтенсивність зношування робочих поверхонь в оливах, оброблених МП [83, 84, 87, 97]; визначено енергетичні аспекти стабілізації стану трибосистем [10, 19]; досліджено, що зниження інтенсивності зношування робочих поверхонь досягається за рахунок прогнозованості стану оливи та змін на поверхні під дією МП [57-59, 71]; здобувачем проведено візуальні дослідження впливу МП щодо зміни енергетичного заряду оливи [54, 55, 73]; автором з'ясовано, що спрямованою дією МП на оливу та наявні у її складі модифікатори можливо знижувати інтенсивність зношування робочих поверхонь [86, 93-96].

Апробація результатів дисертації. Результати наукових досліджень, що включені до роботи, доповідались та обговорювались на наукових конференціях: «Політ. Сучасні проблеми науки» (м. Київ, НАУ, 2008, 2009, 2012 рр.); Міжнародних науково-технічних конференціях «Авіа» (м. Київ, НАУ, 2011, 2013 рр.); IV Всесвітньому конгресі «The Fourth World Congress «Aviation in the XXI-st Century» – «Safety in Aviation and Space Technology» (м. Київ, НАУ, 2010 р.), «IV Letnia szkola inzynierii powierzchni» (м. Польща, 2010 р.), «Проблеми хімотології»: IV Міжнародній науково-технічній конференції (м. Київ, 2012 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми машинознавства» (м. Київ, НАУ, 2013 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладено у 20 наукових працях, з них 2 статті у зарубіжних виданнях, 2 статті в журналах, що входять до міжнародних науково-метричних баз даних, 11 статей у провідних фахових наукових виданнях України, 5 патентів України на корисну модель. Крім того, додаткове відображення наукових результатів дисертації містять 6 тез на міжнародних наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 120 сторінок, у тому числі 61 рисунок, 13 таблиць. Список використаних джерел нараховує 102 найменування на 10 сторінках.

РОЗДІЛ I

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РЕСУРС ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАУКОВОГО НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Вплив ресурсу на експлуатаційну надійність енергетичних установок авіаційної наземної техніки

Світовий ринок авіаперевезень останніми роками показав зростання відповідно з довгостроковими трендами. Проте темпи цього зростання виявилися дещо нижчими від прогнозних, що стало відображенням стану світової економіки і передусім країн Єврозони.

За даними IATA обсяг пасажирських авіаперевезень у 2012 р. збільшився на 5,3 % порівняно з 2011 р. При цьому частка зайнятості пасажирських крісел становила 79,1 %, що на 1 % вище, ніж у 2011 р. Обсяг авіаційних вантажоперевезень порівняно з цим же роком знизився на 1,5 %. Коефіцієнт комерційного завантаження вантажних рейсів також показав падіння до 45,2 % з 45,9 % у 2011 р.

Якщо за підсумками 2011 р. авіакомпанії всього світу отримали прибуток 8,8 млрд дол. США, то в 2012 р. він склав лише 7,6 млрд дол. США. Середній рівень рентабельності по галузі також впав з 1,5 % у 2011 р. до 1,2 % у 2012 р.

Порівняно з 2012 р. у 2013 р. попит на міжнародні пасажирські авіаперевезення зріс на 5,4%. При цьому зростання спостерігалось в усіх регіонах планети. За 2013 р. обсяг пасажирських авіаперевезень збільшився на 4,9 %, що підвищило коефіцієнт завантаження пасажирських крісел до 79,3 %, а це на 0,2 % перевищує значення 2012 р.

Незважаючи на деяке зниження доходів авіакомпаній у 2012 – 2013 рр., попит на нові цивільні літаки продовжував зростати. Так, якщо в 2011 р. на світовий ринок усіма виробниками поставлено 1 514 літаки комерційної авіації, то в 2012 р. обсяг поставок збільшився до 1 691 од. (Airbus – 588, Boeing – 601, Bombardier – 233, Embraer – 205, ATR – 64). Із них магістральних – 1 189, регіональних (50...110 місць) – 220, літаків бізнес-авіації – 278, літаків-амфібій – 4.

За оцінкою фахівців IATA, у 2014 р. темпи зростання пасажирських авіапереве-

зень становили близько 4,5 %. Вантажні перевезення зросли на 1,4 % порівняно з 2013 р. Доходи галузі склали близько 8,4 млрд дол. а середній рівень рентабельності був на рівні 1,3 %.

У період 2015 - 2031 рр., за оновленими прогнозами основних виробників авіа-техніки, на світовий ринок буде поставлено від 28 198 (прогноз Airbus) до 34 000 (прогноз Boeing) пасажирських і вантажних літаків. Найбільший попит, як і раніше, очікується в сегменті вузькофюзеляжних літаків (19 500...23 240 одиниць). Ринок широкофюзеляжних літаків складе від 6 500 (Airbus) до 7 950 (Boeing) літаків, регіональних – від 5 900 (Bombardier, 20-99) до 6 795 (Embraer, 30...120 місць) літаків. У вартісному вираженні 44...57 % від загальної суми поставань припаде на продажі широкофюзеляжних літаків.

Усе це потребує подальшого розвитку і вдосконалення наземної інфраструктури цивільної авіації, складовою частиною якої є АНТ, яка використовується для обслуговування повітряних суден (ПС) в аеропорту.

Натепер номенклатура АНТ досить широка. Це аеродромні та багажні тягачі, спецмашини для заправки ПС питною водою, спецмашини для оброблення туалетних відсіків ПС, автоліфти бортхарчування, амбулаторні ліфти, контейнерні завантажувачі, паливозаправники, автовишки та ряд інших машин і пристосувань, без яких неможливо забезпечити своєчасний виліт ПС.

Так, наприклад, у службі спецтранспорту аеропорту Державне підприємство «Міжнародний аеропорт «Бориспіль» в експлуатації натепер перебуває 80 одиниць техніки (АНТ для технічного обслуговування ПС – 41 одиниця, АНТ для обслуговування авіаперевезень 39 одиниць). Крім того, у цьому аеропорту працює дві хендлінгові компанії – InterAvia та TehAvia. Загалом у їх парку налічується ще понад 150 одиниць техніки. Парк аеродромної служби аеропорту складається з 48 одиниць техніки, призначеної для прибирання та ремонту аеродромного покриття.

Спецмашини, що використовуються в аеропорту, обладнані однією або декількома ЕУ, що забезпечують як пересування АНТ по аеродрому, так і роботу спецобладнання.

Нині ЕУ АНТ в якості джерел енергії використовують в основному двигуни

внутрішнього згоряння та газотурбінні двигуни з вільною турбіною. Енергія від цих двигунів до виконавчих механізмів і пристроїв передається або в якості механічної енергії, або перетворюється в енергію тиску спецрідин. При цьому спецрідини використовуються не тільки як робоче тіло у виконавчих механізмах АНТ, але й як рідини для змащення та охолодження в різних вузлах тертя, значна кількість з яких є прецизійними парами. Як гідравлічні насоси, у системі змащення двигуна і в робочій системі АНТ найбільшого поширення в сучасних АНТ набули різного типу радіально-поршневі та аксіально-поршневі насоси.

Якщо проаналізувати наведені в табл.1.1 причини виникнення відмов і несправностей АНТ, зареєстрованих за останнє десятиліття, то можна помітити, що дві третини з них зумовлені відмовами і несправностями ЕУ АНТ [1].

Таблиця 1.1. – Розподіл відмов АНТ, %

Агрегати та системи	Напрацювання, мотогодини		
	1200	2400	3600
Енергетична установка	59,8	63,9	67,6
Електрообладнання	2,3	2,1	1,8
Базове шасі	7,5	6,7	6,1
Трансмісія	4,4	3,9	3,5
Приладне обладнання	2,5	2,2	2,0
Система керування	3,1	2,8	2,5
Гідросистема	8,9	8,0	7,2
Спецобладнання	11,5	10,4	9,3

На частку систем змащення припадає до 24 % (табл.1.2) усіх відмов та несправностей ЕУ АНТ, причому майже 14 % припадає на гідронасоси. Тому в роботі основну увагу приділено питанням вивчення можливостей підвищення ресурсу саме насосів, що встановлені у системах змащення ЕУ АНТ, які в більшості сучасних АНТ є аксіально-поршневими (АПН). Дослідженнями саме цих насосів було зумовлено побудову моделі визначення ресурсу пари тертя та типи олив і матеріалів, що використовувались в експериментальній частині дисертаційної роботи.

На підставі аналізу даних експлуатації отримано середнє напрацювання на відмову ЕУ АНТ у довірчому інтервалі ($\alpha = 0,95$) 237...360 мотогодин.

Таблиця 1.2 – Показники надійності ЕУ деяких типів АНТ

Показники надійності	Тип АНТ		
	ТКА-ТС-30	ТКА-АПБ 60R	КТА-КПП7
Середнє напрацювання на відмову, мотогодини	92	86	142
Середній час усунення відмови, год	3,62	3,18	2,62
Середнє значення параметра потоку відмов (відмовиза 1 год)	$10,9 \cdot 10^{-3}$	$11,6 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$
Кількість відмов за окремими агрегатами, %:			
електрообладнання	13,2	7,3	10,1
приладне обладнання	6,7	8,3	7,8
система змащування	23,8	22,6	21,8
система керування	5,4	11,1	8,2
циліндро-поршнева група	12,6	16,4	15,5
редуктор	8,1	5,7	9,3
муфта зчеплення	11,3	10,7	10,2
паливна система	18,9	17,9	17,1

Ресурс ЕУ для АНТ однієї марки в експлуатаційних умовах коливається в широких межах, γ -відсотковий ресурс ЕУ АНТ із дотриманням правил експлуатації становить не менше 6 000 мотогодин. Сукупність однойменних агрегатів ЕУ кожної моделі АНТ у певних умовах експлуатації має свій специфічний розподіл ресурсу. Проте у більшості випадків розподіл ресурсу може бути приблизно описаний нормальним або логарифмічно нормальним законом.

У праці [2] наводиться розрахунок показників довговічності агрегатів у нормальних умовах експлуатації за нормативного 90 %-го ресурсу 6000 мотогодин і різних коефіцієнтів варіації V_R (відношення середньоквадратичного відхилення до середнього ресурсу). Величина V_R зазвичай лежить у межах 0,3...0,5 і рідко досягає 0,6. Були обчислені такі найбільш важливі характеристики: 90 %-й ресурс R_{90} (характеризує лівий край розподілу); середній ресурс $R_{\text{ср}}$; кількість агрегатів, які потребують капітального ремонту раніше 4 000 мотогодин (приблизно три роки експлуатації); кількість агрегатів, які не потребують капітального ремонту впродовж 11 000 мотогодин (табл.1.3). Наведені розрахункові показники справедливі для

умов, коли виконуються усі правила експлуатації і ресурс агрегатів реалізується повністю (не відправляються на капітальний ремонт, поки не досягнуть граничного стану). Ці показники дозволяють оцінити вплив удосконалення експлуатації, технічного обслуговування та ремонту АНТ на надійність, а також виявити особливості розподілу ресурсу.

Таблиця 1.3. – Розрахункові показники довговічності ЕУ та їх систем змащення за нормативного ресурсу $R_{90} = 6\ 000$ мотогодин

Закон розподілу	V_R	R_{90}	$R_{сер}$	Кількість агрегатів, %, з ресурсом	
				менше 4 000 мотогодин	менше 11 000 мотогодин
Експоненціальний	0,3	4900	8000	5,0	11,0
	0,4	4400	9000	8,0	29,5
	0,5	3700	10400	11,0	45,0
	0,6	2800	12100	13,0	56,0
Логарифмічно-нормальний	0,3	5300	8000	1,0	14,0
	0,4	5100	8900	2,0	29,5
	0,5	4900	10000	2,5	42,0
	0,6	4700	11200	3,0	51,0

У практиці експлуатації внаслідок порушень інструктивних вимог технічного обслуговування ресурс може знизитися для ЕУ на 10...30 % [3].

Водночас треба мати на увазі, що встановлений ресурс АПН для розглянутих типів АНТ дорівнює 3 000 мотогодин. Тобто АПН належать до агрегатів з ресурсом меншим за 4 000 мотогодин.

Щоб оцінити найбільш імовірні шляхи модернізації ЕУ АНТ доцільно розглянути модель їх технічної експлуатації. Узагальнюючи нормативно-технічну документацію з експлуатації різних типів АНТ, можна запропонувати модель, у якій ЕУ АНТ є нерезервованим об'єктом контролю (ОК) з проведенням періодичного контролю технічного стану (ТС). Така модель має деякі особливості. Насамперед процес контролю ТС містить дві складові: безпосередньо перевірки та усунення у випадку виявлення відмов і пошкоджень, які потребують для цього зниження готовності АНТ з наступним проведенням підтверджуючої перевірки.

У проведенні дослідження систем технічної експлуатації ЕУ АНТ з періодич-

ним контролем ТС важливою є достовірність його результатів. У процесі контролю має місце як ймовірність прийняття несправного ОК за справний (ймовірність помилкового пропуску відмови β – ймовірність помилки 2-го роду), так і ймовірність прийняття справного ОК за несправний (ймовірність помилкового виявлення відмови α – ймовірність помилки 1-го роду).

У процесі експлуатації виникають не тільки відмови, але й пошкодження, які не приводять до втрат готовності, проте потребують її зниження для їх усунення. Частку відмов у сумарному потоці відмов і пошкоджень $\omega_{\text{пк}}$ будемо задавати як γ , частку пошкоджень – відповідно $1-\gamma$.

З урахуванням наведених особливостей на рис.1.1 зображено орієнтований граф станів ЕУ АНТ з періодичним контролем ТС у процесі експлуатації. Можливі стани ОК мають зміст, наведений в табл.1.4. Фізична сутність переходів впливає зі змісту станів, наведених в табл.1.5. Формули для визначення матриці умовних інтенсивностей переходів a_{ij} зведено в табл.1.6.

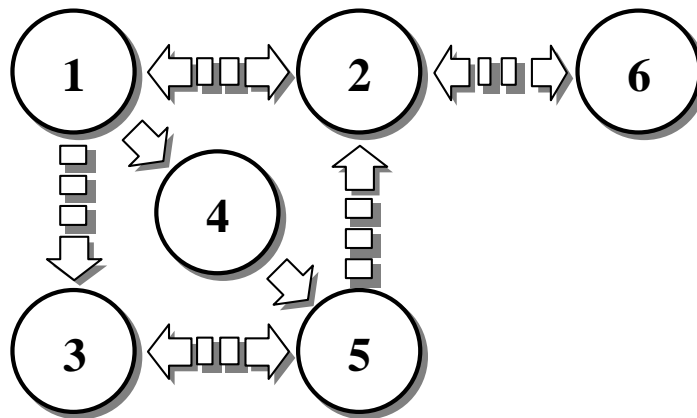


Рисунок 1.1. – Граф станів нерезерованих ОК з періодичним контролем ТС

Система диференціальних рівнянь для цього графа станів має вигляд:

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -(a_{12} + a_{13} + a_{14})P_1(t) + a_{21}P_2(t); \quad (1.1)$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = a_{12}P_1(t) - (a_{21} + a_{26})P_2(t) + a_{52}P_5(t) + a_{62}P_6(t);$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = a_{13}P_1(t) - a_{35}P_3(t) + a_{53}P_5(t);$$

$$\frac{dP_4(t)}{dt} = a_{14}P_1(t) - a_{45}P_4(t);$$

$$\frac{dP_5(t)}{dt} = a_{35}P_3(t) + a_{45}P_4(t) - (a_{52} + a_{53})P_5(t);$$

$$\frac{dP_6(t)}{dt} = a_{25}P_2(t) - a_{62}P_6(t).$$

Таблиця 1.4. – Можливі стани ЕУ АНТ

Код стану	Характеристика стану
1	ЕУ АНТ знаходиться в готовності до роботи
2	На готовій до роботи ЕУ АНТ проводиться періодичний контроль ТС
3	ЕУ АНТ знаходиться в стані прихованої відмови
4	ЕУ АНТ знаходиться в стані прихованої відмови, яка вимагає для усунення зниження готовності АНТ до застосування за призначенням
5	Проводиться періодичний контроль ТС на ЕУ АНТ не готовому до роботи
6	ЕУ АНТ знаходиться в стані помилкової відмови або пошкодження, і на ньому виконуються ремонтно-відновлювальні роботи

Таблиця 1.5. – Можливі переходи ЕУ АНТ

Код станів	Характеристика переходів
1–2	Перехід зі стану готовності на періодичний контроль ТС
1–3	Відмова
1–4	Пошкодження
2–1	Перехід після закінчення контролю ТС у стан готовності до роботи
2–6	Помилкова відмова
3–5	Перехід ОК, що відмовив на контроль ТС
4–5	Перехід пошкодженого ОК на контроль
5–2	Перехід на підтверджувальний контроль ТС
5–3	Перехід у стан прихованої відмови з причини помилкового її пропущення
6–2	Перехід на підтверджувальний контроль ТС

Розроблена модель системи технічної експлуатації ЕУ АНТ дозволяє врахувати сім експлуатаційних характеристик, які утворюють вектор X параметрів системи технічної експлуатації (табл.1.7). Результати розв'язування системи диференціальних рівнянь (1.1) наведено в табл.1.8.

Таблиця 1.6. – Інтенсивності переходів

Код переходу	Інтенсивність
1–2	$\tau_{\text{мпк}}^{-1}$
1–3	$\omega_{\text{пк}}^0 = \gamma \omega_{\text{пк}}$
1–4	$\omega_{\text{пк}}^{\text{H}} = (1 - \gamma) \omega_{\text{пк}}$
2–1	$(1 - \alpha) \tau_{\text{пк}}^{-1}$
2–6	$\alpha \tau_{\text{пк}}^{-1}$
3–5	$\left[\tau_{\text{мпк}} - (\tau_{\text{мпк}}^{-1} + \omega_{\text{пк}})^{-1} \right]^{-1}$
4–5	$\left[\tau_{\text{мпк}} - (\tau_{\text{мпк}}^{-1} + \omega_{\text{пк}})^{-1} \right]^{-1}$
5–2	$(1 - \beta)(\tau_{\text{пк}} + \tau_{\text{ус}})$
5–3	$\beta \tau_{\text{пк}}^{-1}$
6–2	$\tau_{\text{ус}}^{-1}$

Аналіз результатів розв’язування показує, що перехідні процеси в моделі майже відсутні якщо $\omega_{\text{пк}} \leq 10^{-5} \text{ г}^{-1}$, та якщо $\omega_{\text{пк}} = 10^{-4} \text{ г}^{-1}$, момент початку стаціонарного процесу в моделі становить 0,5 року. Це дуже добре узгоджується з процесами, що спостерігаються в реальних умовах експлуатації АНТ.

Таблиця 1.7. – Вектор X ЕУ АНТ з періодичним контролем ТС

Позначення	Найменування параметра
$\omega_{\text{пк}}$	Параметр потоку відмов і пошкоджень ОК з періодичним контролем ТС
γ	Частка відмов у сумарному потоці відмов і пошкоджень
α	Імовірність помилки 1-го роду
β	Імовірність помилки 2-го роду
$\tau_{\text{мпк}}$	Періодичність проведення періодичного контролю ТС
$\tau_{\text{пк}}$	Тривалість проведення періодичного контролю ТС
$\tau_{\text{ус}}$	Тривалість усунення відмов і пошкоджень

На ймовірність $P_{E_{1,4}} = P_1 + P_4$ мати ЕУ АНТ у стані готовності до застосування за призначенням суттєво впливає як сумарний параметр потоку відмов і пошкоджень $\omega_{\text{пк}}$, так і періодичність $\tau_{\text{мпк}}$ проведення контролю (рис.1.2). Із графіків видно, що модель чутлива до цих параметрів. Максимум готовності (імовірності $P_{E_{1,4}}$) ОК з

$\omega_{\text{пк}} = 10^{-4} \text{ г}^{-1}$ досягається, якщо $\tau_{\text{мпк}} = 1,3 \text{ міс.}$, а $\omega_{\text{пк}} = 10^{-5} \text{ г}^{-1}$ – при $\tau_{\text{мпк}} = 3 \text{ міс.}$ Для ЕУ АНТ з $\omega_{\text{пк}} \geq 10^{-4} \text{ г}^{-1}$ відхилення від оптимальної періодичності контролю призводить до значних втрат готовності та складають при $\tau_{\text{мпк}} = 3 \text{ міс.}$ приблизно $\Delta_1 = 4 \%$. Якщо $\omega_{\text{пк}} < 5 \cdot 10^{-5} \text{ г}^{-1}$ максимум $P_{E_{1,4}}$ зсувається вправо, а характер кривої після $\tau_{\text{мпк}} \geq 2 \text{ міс.}$ стає вкрай пологим.

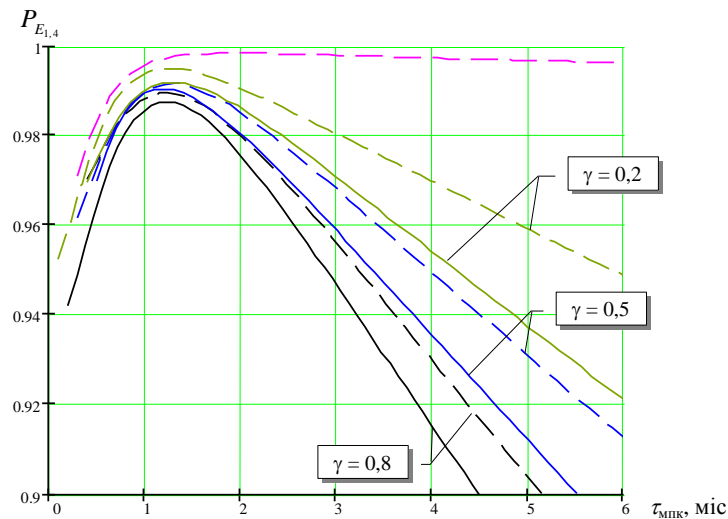


Рисунок 1.2. – Залежність імовірності P_E від вірогідності контролю нерезервованих агрегатів і систем: $\alpha = \beta = 0,05$; $\omega_{\text{пк}} = 10^{-5} \text{ г}^{-1}$; $\alpha = \beta = 0,05$; $\omega_{\text{пк}} = 10^{-4} \text{ г}^{-1}$; $\alpha = \beta = 0,1$; $\omega_{\text{пк}} = 10^{-4} \text{ г}^{-1}$

Таблиця 1.8. – Імовірність P_E перебування ЕУ АНТ у готовності до роботи

$\omega_{\text{пк}}, \text{ г}^{-1}$	$t, \text{ рік}$			
	0,3	0,5	0,7	1,0
10^{-4}	0,931218	0,919952	0,916239	0,914796
10^{-5}	0,996833	0,996831	0,996828	0,996728
10^{-6}	0,999126	0,999124	0,999122	0,999109
$\gamma = 0,5; \alpha = \beta = 0,05; \tau_{\text{мпк}} = 6 \text{ міс.}; \tau_{\text{пк}} = 3 \text{ год.}; \tau_{\text{ус}} = 10 \text{ год.}; P_1(0) = 1$				

Отже, побудована модель підтверджує отриманий у процесі експлуатації висновок, що зі зменшенням $\omega_{\text{пк}}$ контроль ТС можна проводити зі збільшеною періодичністю і тим самим зменшити загальні витрати на утримання АНТ даного типу. Але водночас встановлено, що ця періодичність повинна виконуватись з чітко визначеною періодичністю, інакше характеристики системи технічної експлуатації значно погіршуються і тим самим збільшуються витрати на обслуговування та ре-

монт спецтехніки. Бажано, щоб в експлуатації $\omega_{\text{пк}}$ не перевищувало 10^{-4} г^{-1} . Це також важливо, оскільки параметр γ , який характеризує частку відмов у сумарному потоці $\omega_{\text{пк}}$, впливає на $P_{E_{1,4}}$ при $\omega_{\text{пк}} \geq 10^{-4} \text{ г}^{-1}$ і майже не впливає за менших значень. Так, для ОК з $\omega_{\text{пк}} = 10^{-4} \text{ г}^{-1}$ у разі зміни γ з 0,8 до 0,2 приріст готовності $P_{E_{1,4}}$ при $\tau_{\text{мпк}} = 2$ міс. становить $\Delta_2 = 1 \%$, при $\tau_{\text{мпк}} = 4$ міс. $\Delta_3 = 4 \%$, а при $\tau_{\text{мпк}} = 6$ міс. – уже 7,5 %. Це також вказує на те, що відхід від оптимальних значень $\tau_{\text{мпк}}$ найбільш небезпечний при великих значеннях $\gamma(\omega_{\text{пк}}^0)$.

Таким чином, для зменшення витрат на експлуатацію парку АНТ необхідно збільшити рівень її надійності. Це науково-технічне завдання зазвичай вирішується шляхом модернізації агрегатів та вузлів, які мають найбільший потік відмов в експлуатації. Для багатьох сучасних АНТ, що використовуються в аеропортах України, таке вирішення не є прийнятним. Це зумовлено тим, що більшість спецтехніки, що експлуатується в українських аеропортах іноземного виробництва, а за умовами контракту на їх технічний супровід в експлуатації встановлювати агрегати та вузли з унесеними в них без узгодження з виробником змін неприпустимо.

Тому треба знайти зовнішні шляхи впливу на надійність основних вузлів ЕУ АНТ. Зокрема для вирішення цього завдання можна скористатись такою гіпотезою: під впливом постійного МП відбувається модифікації фізичної структури олив, що використовуються у прецизійних парах ЕУ АНТ та присадок, що додаються до цих олив.

1.2. Експлуатаційна надійність і ресурс прецизійних пар

Прецизійна пара є важливим агрегатом АНТ. Технічний стан ПП характеризує не тільки експлуатаційну надійність АНТ, а й безпосередньо пов'язаний з питанням безпеки. Тому прецизійні пари входять до групи тих агрегатів, ТС яких потребує систематичного контролю.

Проблемі підвищення рівня експлуатаційної надійності АНТ присвячено багато спеціальних досліджень [1,2]. Пропозиції, що містяться в них, стосуються зниження інтенсивності зношування поверхонь тертя шляхом використання сучасних трибо-

технологій [4], методів підготовки поверхонь та створення нових методів проектування та діагностики [6], а також удосконалення конструкції [7] елементів ПП.

В останні 30 – 35 років над вирішенням проблеми підвищення довговічності прецизійних пар працювало багато вчених [4,5,7,9].

Зазначені вище дослідження і роботи послідовно вирішили багато питань названої проблеми, що сприяло значному підвищенню рівня надійності прецизійних пар. Проте значна частина проблеми до цього часу ще потребує свого вирішення.

Відмови ЕУ АНТ у 25% випадків викликані несправностями прецизійних пар, близько половини з яких зумовлені відмовами АПН. Несправності АПН виявилися в 1997 – 2003 рр. причиною 3...5% від загальної кількості вжитих заходів на непланові ремонти АНТ.

На усунення причин позапланових ремонтів підприємства витрачаються значні кошти. Витрати на експлуатацію АНТ з недостатнім рівнем надійності через 5 – 6 років перевищують вартість нових машин.

Необхідно відзначити, що частка непланових ремонтів ЕУ АНТ у період 2011 – 2014 рр. через відмови прецизійних пар (у тому числі і АПН) становила близько 8,5%. Кількість експлуатаційних відмов, причиною яких була недостатня надійність ПП, у 2011 – 2014 рр. зростає, що становить близько 5% від загальної кількості випадків виходу вузлів з ладу.

ТС АПН безпосередньо впливає на довговічність елементів АНТ. Робота АНТ у разі збільшення діаметральних зазорів в АПН супроводжується підвищеним зносом робочих поверхонь.

Існуючі технічні засоби моніторингу і діагностики АПН мають недосить високі показники достовірності, прогноз ТС багатьох з попередньо вибракуваних вузлів після їх розбирання не підтвердився, а значна кількість дефектів, які безпосередньо загрожують безпеці, тими ж технічними засобами не були виявлені.

Широкі перспективи вирішення проблем тертя відкриваються у зв'язку із застосуванням на поверхнях вузлів машин трибоматеріалів. Їх застосування дає змогу не тільки зменшити темпи зносу, але й вирішити завдання відновлення заданої геометрії поверхонь тертя, у тому числі прецизійних пар. Після окиснювально-відновних

реакцій і реакцій заміщення на зношених контактних поверхнях утворюється вторинні структури різної товщини [3].

Застосування сучасних технологій ставить низку нових вимог до організації роботи систем змащення та до властивостей мастильних матеріалів.

Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення рівня експлуатаційної надійності та ресурсу прецизійних пар, залишаються актуальними й дотепер. Особливу гостроту проблемі надає значний фізичний знос [9] та прийняті плани модернізації щодо його зниження. Вирішення цієї проблеми багато в чому зумовлено ефективністю роботи застосовуваних систем змащування та експлуатаційних характеристик оливи.

1.3. Теоретичні і експериментальні дослідження роботи систем змащення

Сучасий погляд на фізичний механізм зношування поверхонь деталей склався під впливом досліджень таких вітчизняних вчених як І.В. Крагельський, Б.І. Костецький, О.Ф. Аксьонов, М.В. Райко, В.Д. Кузнецов, А.С. Ахматов, Ю.С. Термінасов, Н.А. Буше. Серед зарубіжних учених, що займались цим питанням, слід відмітити Д. Арчарда, Ф. Боудена, Д. Тейбора, Т. Куїна. Цим науковцям вдалося встановити можливість переносу матеріалу в процесі тертя та функції структурних факторів матеріалу у формуванні фізико-хімічних властивостей поверхонь. Виявлені закономірності деформації зерен полікристалічних матеріалів на поверхнях тертя та у внутрішньому об'ємі [4, 5]. В праці [6] авторами висвітлено енергетичну концепцію стабілізації стану трибосистем.

Зокрема, в працях Б.І. Костецького були вивчені діапазони зношування для більшості матеріалів залежно від робочих середовищ, але дотепер не повністю описані механізми цього процесу, недостатньо розкриті структурні та енергетичні аспекти зміцнення поверхневих шарів, дія адсорбції та одночасного деформування, хімічних реакцій в поверхневих шарах трибоелементів, дифузії, а також вплив присадок до оливи з урахуванням умов експлуатації техніки.

Для зниження рівня зношування робочих поверхонь деталей АНТ застосовують різні змащувальні рідини з певними властивостями. Вони також виконують охоло-

дження поверхонь тертя, розділення механічного контакту, винесення із зони тертя продуктів зношування [7], тобто знижують інтенсивність зношування деталей, що дає можливість збільшити їх ресурс.

Крім того, для зменшення зношування деталям надають певних форм, виконують відповідне термічне оброблення, підбирають конструктивні матеріали тощо. Але не зважаючи на всю різноманітність функціональних особливостей та конструктивних форм вузлів тертя, стійкість до зношування є головним параметром, що визначає їх ресурс, довговічність і безвідмовність.

Для подовження ресурсу в процесі експлуатації вузли в ЕУ АНТ виконують значний обсяг регламентних робіт, включаючи введення у змащувальне середовище різних функціональних присадок та заміну відпрацьованих олив свіжими.

Обґрунтування доцільності застосування тих чи інших присадок та їх комбінацій потребує вирішення ряду взаємопов'язаних задач з хімії, фізики, механіки і є сьогодні одним з перспективних напрямів підвищення надійності техніки [8-10].

Ресурс окремих деталей та вузлів ЕУ АНТ можна також значно підвищити, якщо застосувати нові технології для зниження інтенсивності зношування. Зокрема у працях які виконувались під керівництвом В.Д. Євдокімова встановлено, що магнітні лінії, які проходять безпосередньо через зону контакту, при зміцнювальному фрикційнійному оброблюванню, сприяють зниженню інтенсивності зношування поверхонь порівняно з рівнем зношування за умов проходження магнітних силових ліній за межами цієї зони. У процесі виготовлення деталей в матеріалі нерівномірно концентрується деяка кількість надмірної енергії, зі збільшенням якої зростає ймовірність руйнування деталі [11].

Вплив МП також вивчався і в низці інших досліджень. Так у праці [12] експериментально доведено, що електромагнітне поле, що пропускається крізь зони фрикційного контакту, сприяє інтенсифікації вибіркового перенесення.

Дослідження про вплив МП на вільні заряди в металах проводились під керівництвом професора А. Давенпорта Великобританія, де відзначено, що якщо є електрони або інші заряджені частинки, то вони будуть підкорятися дії МП і неоднозначно реагуватимуть на дію магнітних силових ліній.

Під час структурного перетворення в металі під дією магнітно-імпульсного зміцнення перебігають процеси мікропластичної деформації за схемою двійникування і динамічної рекристалізації, що приводить до зниження міцності сплаву [13].

У процесі проходження МП по деталі індукуються вихрові струми і спільно зі струмом індуктора виникають динамічні навантаження, що перетворюються в механічну роботу, унаслідок зміцнюється поверхня металу. Зниження інтенсивності зношування сталевих поверхонь відзначено у праці [11].

В праці [14] відзначено, що МП може впливати на зношування пар тертя-кочення і на величину негативного ефекту реверсу. Найкращі результати дає використання комбінованого фрикційно-магнітного оброблення сталі.

Магнітне оброблення використовують також для поліпшення властивостей конструкційних матеріалів, води, розчинів, дисперсних систем, а також у машинобудуванні. Під дією магнітного впливу речовина змінює свої фізичні та механічні характеристики. Поліпшення властивостей у феромагнітних деталях, оброблених МП, досягається за рахунок напрямленої орієнтації вільних електронів речовини зовнішнім полем, як наслідок збільшується тепло- та електропровідність матеріалу [15]. Показано, що за певних режимів тертя виникають вторинні структури в поверхневих шарах сталей, які підвищують експлуатаційні властивості та збільшують ресурс деталей

Водночас під дією зовнішнього МП кожен атом діамагнетика набуває магнітного моменту, пропорційного напруженості поля, і напрямлений назустріч полю. Тому магнітна проникність діамагнетиків завжди негативна. За абсолютною величиною діамагнітна проникність мала і мало залежить як від напруженості МП, так і від температури. До діамагнетиків належають більшість органічних та неорганічних сполук [16].

Основним напрямом робіт, у яких застосовувалось магнітне оброблення було вивчення питання впливу електромагнітних полів на експлуатаційні властивості сталей. Мужу і Гош [17] установили, що МП впливає на пластичність феромагнітних матеріалів. Мансорі у своїх працях [18] визначив, що мікротвердість на поверхні ковзання феромагнітних матеріалів за умов впливу вертикального МП підвищу-

ється. Не тільки Мансорі, а й Заїді стверджують, що вертикальне МП підвищує мікротвердість поверхні ковзання

Результати електромагнітних досліджень наведено у праці [19].

Кумагаї та Камія в ході своїх досліджень зробили висновок, що МП, впливаючи на процес тертя, знижує рівень зношування [20]. Крім того, вони стверджують, що намагніченість сприяє окисненню продуктів зношування оскільки вони притягуються силою МП і містяться в зоні контакту.

З огляду на наведенні наукові праці актуальним є провести дослідження щодо збільшення ресурсу деталей, зокрема ЕУ АНТ, з використанням впливу МП на мастильний матеріал (ММ).

Для виготовлення поршнів насосів, гідросистем та систем змащення АНТ використовують матеріали ШХ-15, 40ХНМА, 30ХГСА або їх закордонні аналоги та хромові покриття, що належать до феромагнітних матеріалів. А циліндри виготовляють зі сплавів на основі міді. Мідь і цинк – діамагнітні матеріали, легувальні елементи бронзового сплаву: свинець, алюміній – парамагнетики.

Таким чином, наявність різних параметрів визначає складність керування магнітним станом деталі для отримання необхідних властивостей робочих поверхонь сполучених деталей.

Механічна взаємодія зовнішніх поверхонь тертя створює опір площині дотику двох дотичних тіл у ході відносного переміщення. Утворення продуктів зношування – невід'ємна частина процесу зовнішнього тертя, тому керуючи залишками виробництва продуктів зношування, необхідно створювати умови зворотного використання магнетиків, направляючи їх у зону площини тертя.

Під час вивчення магнітних властивостей матеріалів важливе значення має вимірювання двох типів:

- вимірювання сили, що діє на зразок поблизу магніту (так визначається намагніченість зразка);
- вимірювання резонансних частот, зумовлених намагніченням речовини.

Атоми є надмалими «гіроскопами» і в МП вони прецесують (форма обертання атома конусоподібна) з частотою, яка може бути виміряна. Крім того, на вільні заря-

джені частинки, що рухаються під прямим кутом до ліній магнітної індукції, діє сила, як і на електронний струм у провіднику. Вона змушує частинку рухатися по коловій орбіті. Частота характеризує рух заряджених частинок у речовині, що перебувають у МП. Обидва типи рухів (прецесію і рух по колових орбітах) можна порушити змінними полями з резонансними частотами, що дорівнюють природним частотам, характерними для даного матеріалу. У першому випадку резонанс називається магнітним, а в другому – циклотронним. МП діє на атомний диполь, що обертається, прагнучи повернути його і встановити паралельно полю. Замість цього атом починає прецесувати навколо напрямку поля з частотою, яка залежить від дипольного моменту і напруженості прикладеного поля [16].

Натуральний тиск електронів один на одного утворює електричний потенціал, а зміна тиску характеризує електричне поле. Експерименти показали, що сила Лоренца істотно змінює потік частинок, які беруть участь у корозійному процесі, тим самим змінюючи їх доставлення до поверхні металу та швидкість їх перенесення.

1.4. Аналіз властивостей та характеристик олив, що використовуються в енергетичних установках авіаційної наземної техніки

Як було встановлено у праці [21], невідпрацьовані моторні оливи мають стандартні фізико-хімічні характеристики, що не завжди використовуються для проведення діагностики стану оливи. Тому авторами цих праць пропонується визначати ступінь придатності олив, діагностуючи їх стан за показниками бракувань або граничних показників, які вказують на стан їх експлуатаційних властивостей. Основними робочими характеристиками олив є: в'язкість, лужне і кислотне числа, диспергувальна здатність, водневий показник, температура спалаху, вміст нерозчинних забруднень (продуктів зношування, активних елементів присадок до олив або охолоджувальні рідини) та води, ступінь окиснення основи оливи, залишковий вміст активних присадок в працюючій оливі [22].

ДСТУ 4106 – 2002 визначає експлуатаційні та фізико-хімічні початкові характеристики свіжої, невідпрацьованої оливи. Поширеним натеper є додавання присадок у оливу в кількості 0,005...20 %, що сприяє підвищенню експлуатаційних влас-

тивостей олив. Використовуються такі типи присадок: антиокислювальні; антикорозійні; антизадири; протизносні; мийно-диспергуючі; антипінні, а також композиції присадок, що складається з різних компонентів. За умов вдало підібраних композицій дія складових компонентів взаємно підсилюється, тобто наявний синергетичний ефект [23]. Такі присадки значною мірою знижують рівень зношування, запобігають задирам та відкладенням у трибосполученнях деталей, а також підвищують експлуатаційні параметри деталей та самої оливи, подовжуючи тривалість її роботи.

Первинними продуктами процесу окиснення моторної оливи є перекиси, що згодом беруть участь в утворенні продуктів більш глибокого окиснення. Ароматичні вуглеводи, що мають короткі бічні ланцюги, утворюють різні нейтральні сполуки, як у вигляді випадуючого осаду в оливі (карбени, асфальгени), так і в розчиненому стані (смоли, феноли). Парафінові та нафтеніві ряди та ароматичні з довгими бічними ланцюгами окиснюються з утворенням кислих продуктів (асфальтогенові кислоти, карбоїди окисикислот) [24].

Моторна олива забруднюється органічними домішками (вуглецевими складовими, смолисто-асфальтовими сполуками і кислими продуктами окиснення вуглеводнів оливи) та неорганічними (продуктами зношування, водою, піском пилом). Нагромадження ж у складі оливи неорганічних продуктів призводить до інтенсивного зношування поверхонь тертя та зменшення ресурсу. Механічні домішки найінтенсивніше забруднюють оливу за перші 60...120 годин її роботи, після чого настає процес стабілізації [25].

Варто зазначити, що з напрацюванням змінюються робочі характеристики та фізико-хімічні показники олив. Так, в'язкість моторних олив найбільше зростає у перші 60...180 годин роботи, після чого вона майже не змінюється, а така характеристика оливи, як лужність визначається кількістю наявних лужних присадок в оливі. Найінтенсивніше зниження показника лужності олив спостерігається протягом перших 60...120 годин. Введена ж у склад оливи присадка знижує відкладення на деталях, підвищуючи тим самим надійність їх роботи [26].

Продукти окиснення (смоли) найінтенсивніше накопичуються в оливі за перші 250 годин роботи з подальшим зниженням їх кількості, що пояснюється тим, що

смоли переходять у асфальтени в наслідок полімеризації і окиснювальних процесів. Кількість асфальтенів у складі оливи збільшується протягом 450...500 годин її роботи як наслідок полімеризації і конденсації смолянистих речовин та їх переходу в асфальтени [27].

1.5. Модифікування оливи обробленням їх магнітним полем

Дослідженнями встановлено, що оливи адсорбуються на металевих поверхнях. Міцність же утвореної плівки залежить від наявності в ній активних молекул, їх кількості та якості [28], тому змащувальні середовища утворюють на металевих поверхнях граничну фазу товщиною до 0,1 мкм, що відносно міцно зв'язана з поверхнею і має подовжню когезію за наявності товстого змащувального шару між поверхнями.

Згідно з результатами, отриманими у праці [29], диполі оливи під дією МП орієнтуються перпендикулярно до твердої поверхні і це дає можливість уявити граничну плівку у вигляді ворсу. Під час взаємного переміщення поверхонь тертя «ворсинки» ніби згинаються в протилежні боки. Насправді ж відбувається зрушення з перекосом плівки. Опір її ковзанню в такому стані трохи підвищений.

Окисдування плівки спричиняє її руйнування та дезорієнтацію структури. В'язкість змащувального середовища не впливає на граничне змащення, оскільки оливи з однаковою в'язкістю, але різних марок мають різну змащувальну дію.

Інтенсивність змащувальної дії залежить від адсорбції та хімічної взаємодії металу і змащувального середовища, оскільки хімічні явища відіграють важливу роль у змащуванні [30, 31]. Між металом і вуглеводневими оливами перебігають реакції, що сприяють підсиленню зв'язків плівки з основою. У зв'язку з необхідністю забезпечення високого рівня термічної стійкості граничної плівки, утвореної на металевих поверхнях мінеральними оливами, іноді застосовується штучне підвищення її хімічної активності, що досягається введенням у оливи присадок, що містять органічні сполуки сірки, фосфору, хлору, або ці елементи в різних сполуках. Відомо, що плівка, утворена на поверхні сталі хлорованими вуглеводнями, працездатна до температури 400 °С. Вище від цієї температури відбувається її плавлення [32-34]. Температура плавлення сульфідів вища і змащувальна здатність зберігається до темпе-

ратури 800 °С. Нижче від критичної температури плівка поводитья як тверде масло. Таким чином, гранична плівка повинна мати низький опір зрізуванню та високим опором продавлюванню.

У процесі фізико-хімічної взаємодії змащувального матеріалу з поверхнею металу під час тертя, окрім додавання хімічних модифікаторів у склад змащувального середовища, застосовуються фізичні методи його оброблення різними полями [6, 31], звуковими та ультразвуковими хвилями, опромінюванням світлом різної довжини хвилі тощо.

Одним із методів збільшення ресурсу механізмів є модифікація робочих поверхонь формуванням металовмісних плівок шляхом використання змащувальних матеріалів, оброблених МП як робочого середовища.

Оскільки змащувальні матеріали, оброблені МП, мають високі антифрикційні і зносостійкі властивості [35], тому їх використовують для змащування магнітних підшипників, зубчастих передач з магнітною системою подачі оливи.

Натепер значна увага приділяється дослідженням модифікування моторної оливи фізичними полями, результати яких відображені у працях таких вчених, як В.А. Аметов, І.А. Кравець, Є.М. Лисіков, А.М. Болотов, Є.С. Венцель, А.Б. Григоров, Ю.С. Саркісов, С.М. Соловійов, Л.І. Погодаєв, С.В. Путінцев.

Проведено дослідження дії електромагнітного поля на авіаційне паливо з метою продовження терміну експлуатації підшипників кочення на датчиках витратоміра палива [36] та встановлено вплив електромагнітного оброблення на протизношувальні властивості вуглеводневих сполук. З'ясовано, що однією з особливостей хімічних сполук в органічних сполуках є просторова орієнтація, за якої молекула набуває певної геометричної структури, при цьому хімічні сполуки у ній мають ковалентний характер і порівняно легко поляризуються. Досліджено, що зсув електронів у молекулах, викликаний взаємним впливом на атоми, активно впливає на фізико-хімічні властивості вуглеводнів. У складних сполуках вуглецю іноді утворюються системи загальних π -електронів (нафтонові та ароматичні вуглеводні), об'єднувальні атоми, які відрізняються підвищеною схильністю до поляризації, а з поляризацією змінюється багато об'ємних та поверхневих властивостей рідин.

У праці [37] визначався вплив зовнішнього МП на процеси перенесення в феро-суспензіях. З.П. Шульман та В.І. Кордонський стверджують, що такий потужний вплив пояснюється структуроутворенням у рідинно-динамічній системі в результаті диполь-дипольної взаємодії частинок феромагнетику та орієнтацією елементів структури вздовж силових ліній МП. Інтенсивність процесів перенесення визначається геометрією та величиною МП, концентрацією і розмірами частинок, їх магнітними властивостями та іншими факторами. Показано, що найінтенсивніше змінюються реологічні властивості феросуспензії, зокрема пластичність та ефективна в'язкість – магніто реологічний ефект. У праці [37] було узагальнено результати досліджень цього ефекту – зміни механічних властивостей рідини (в'язкості, пластичності, пружності) під дією МП. Показано, що значно змінюється електро- та магнітна проникність рідинних середовищ.

Особливий інтерес становить праця [38], у якій подані результати досліджень впливу МП на поверхні тертя, що змащуються магнітними оливами. З'ясовано, що застосування магнітних олив сприяє накладенню на вузол тертя неоднорідних МП для керування їх рухом. У праці також наведено результати досліджень закономірностей тертя під дією МП у граничному режимі. Аналіз оливи, виконаний за допомогою електронної мікроскопії, показав перерозподіл частинок не тільки за концентрацією, але і за їх розмірами. Більші частинки перебували там, де напруженість МП вища. Вплив МП на поверхню тертя, змащену магнітною оливою має і механічну природу, що проявляється унаслідок змінювання швидкості розтікання оливи по поверхні та її натікання під дією МП. Так, тільки за рахунок прискорення натікання оливи на доріжку тертя у дослідній установці знижується сила тертя до 25 % [27].

У праці [39] проведено дослідження щодо можливості утримання магніторідинних олив у зоні тертя за допомогою МП. Визначено, що видавлювана із зон контакту магніторідинна олива під дією магнітних сил може повертатися назад, відновлюючи зруйнований змащувальний шар. Триботехнічні характеристики магнітної змащувальної рідини залежать від змащувальних властивостей самих рідин-носіїв. Необхідно зазначити, що на процес змащення відчутно впливає концентрація магнітного носія.

Використовуючи отримані іншими дослідниками результати, автори праці [40] розробили, дослідили та запропонували метод числового моделювання магнітного змащувального шару з урахуванням явища кавітації для підшипників довільної довжини. Зокрема встановлено, що фактором, який ускладнює теоретичне вивчення механізму магніторідинного змащення є лінійна крива намагнічення. Тобто аналіз можливий для магнітного насичення та окремих випадків лінійного закону намагнічення.

Низку праць присвячено вивченню явищ пов'язаних із запобіганням асфальто-смолистим відкладенням і відкладенням парафінів під дією МП [41 – 43]. Магнітне оброблення олив сприяє безперервним асоціативно-дисоціативним переходам змащувальної системи. Встановлено, що зміни змащувальних і водних систем після магнітного оброблення аналогічні.

Мастильні системи та композиційні оливи є термодинамічно рухомими. У них безперервно здійснюються переходи діамагнітних молекул у парамагнітні і навпаки, що зумовлюють зміну надмолекулярних структур та визначають поведінку системи в цілому. Під дією МП відбуваються утворення і рекомбінація радикалів, а також спостерігається підвищення концентрації парамагнітних центрів, а саме максимальне збільшення парамагнітної активності за мінімальної швидкості потоку.

Використовуючи це явище, автори праць [41 – 44] запропонували спосіб магнітного оброблення змащувальних матеріалів, відповідно до якого по трубопроводу подається олива, на яку впливають МП, силові лінії якого напрямлені перпендикулярно до потоку оливи. За рахунок розміщення пар магнітів по ходу руху оливи із зсувом і переполюсування асиметричне МП діє на змащувальний матеріал, що змінює в'язкість змащувального матеріалу, а це сприяє підвищенню експлуатаційних властивостей олив.

1.6. Визначення цілей та постановка завдань наукового дослідження

На підставі проведеного аналізу, метою дисертаційної роботи є вирішення науково-прикладного завдання створення методів та засобів керування ресурсом ЕУ АНТ. Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання наукового дослідження (рис.1.3):

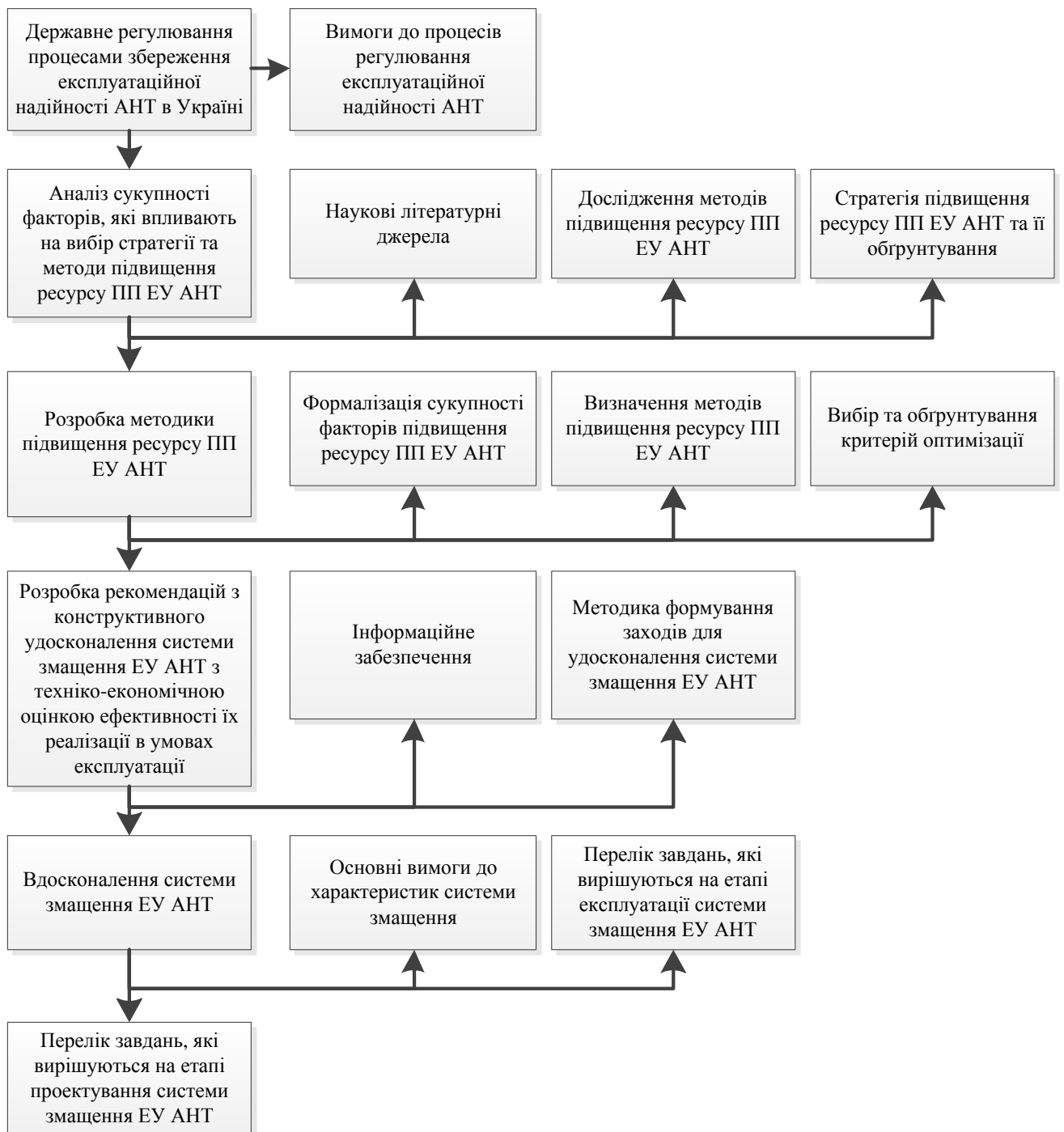


Рис.1.3. Схема дослідження

– провести аналіз існуючих методів керування ресурсом ЕУ АНТ та визначити основні фактори, які істотно впливають на її надійність в умовах експлуатації в аеропорту;

– установити закономірність розподілу навантажень та особливості мастильного режиму на робочих поверхнях прецизійних пар, що використовуються в ЕУ АНТ лежно від умов їх експлуатації;

- дослідити закономірність зміни експлуатаційних властивостей оливи, що використовуються у сучасних ЕУ АНТ;
- установити залежність зміни напруження до граничного стану прецизійної парі «поршень-циліндр» нагнітального насоса системи змащення ЕУ АНТ від технології обробки робочої рідини МП;
- обґрунтувати технологію модернізації системи змащення ЕУ АНТ для керування її ресурсом та підвищення економічності витрачання спеціальних рідин.

РОЗДІЛ II

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Фактори визначення ресурсу аксіально-поршневого насоса

Метою дослідження є підвищення ресурсу ЕУ АНТ шляхом модернізації систем їх змащення. Її досягнення намічено у напрямку активізації змащувальних властивостей оливи. Як спосіб оцінювання ефективності заходів обрано інтенсивність зношування сполучень у АПН, що встановлюються в системі змащення сучасних ЕУ АНТ нагнітальних насосів.

За даними ремонтних підприємств ресурс АПН лімітують деталі прецизійної пари поршень-циліндр (рис.2.1).

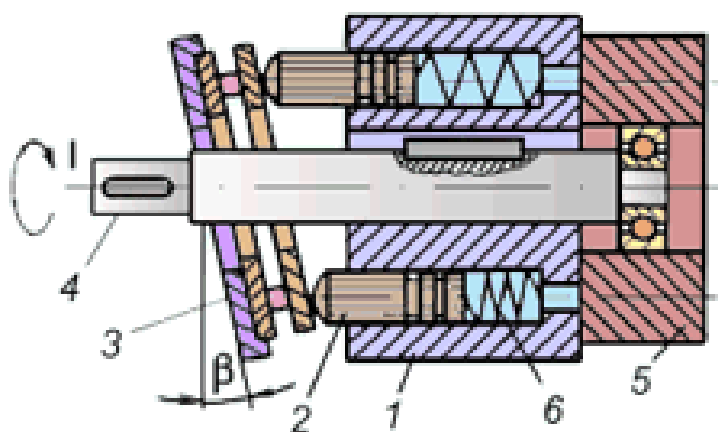


Рисунок 2.1. – Схема аксіально-поршневого насосу: 1 – блок циліндрів; 2 – поршень; 3 – шайба; 4 – вал; 5 – розподільний механізм; 6 – пружина

У результаті зносу робочих поверхонь поршнів і циліндрів змінюються розміри та форма цих деталей, шорсткість, механічні властивості та інтенсивність зношування – утворюються задири, подряпини та інші дефекти.

Робочі поверхні поршнів і циліндрів забезпечують подачу масла з високим тиском, тому в зоні контакту робочих поверхонь має забезпечуватися максимальна герметизація для запобігання перетіканню масла у зазор. Водночас мінімізація цього зазора без застосування додаткових заходів і матеріалів призводить до схоплювання контактуючих поверхонь.

У працях [45 – 47] метод визначення ресурсу R пари тертя має наступний вигляд:

$$R = \frac{U_{\text{ад}}}{\gamma_h \cdot v}, \quad (2.1)$$

де $U_{\text{ад}}$ – граничний лінійний знос поверхонь тертя;

v – середня швидкість ковзання поверхні тертя;

γ_h – інтенсивність лінійного зношування.

Інтенсивність зношування γ – відношення величини зносу до шляху тертя l , на якому відбувався цей знос. Якщо в якості зносу прийнята лінійна характеристика Δh , то це буде лінійна інтенсивність зношування γ_h :

$$I_h = \Delta h / \Delta l.$$

Граничний знос – це знос, що відповідає граничному стану зношення виробу або його складової частини (стан відмови) $\Delta h_{\text{гр}}$.

Допустимий знос – значення зносу, за якого виріб зберігає працездатність.

Умова працездатності трибосполучення має вигляд

$$[\Delta h] < \Delta h_{\text{гр}}.$$

Із поняттям допустимого зносу безпосередньо пов'язане поняття ресурсу трибосполучення. Під ресурсом трибосполучення R розуміють термін його штатної експлуатації, протягом якого параметри трибосполучення перебувають у заданих межах. Ресурс трибосполучень – паспортна характеристика технічного пристрою.

Із виразу (2.1) випливає, що ресурс АПН за встановленої величини граничного зносу визначається лише інтенсивністю зношування. За результатами аналізу ступеня впливу на інтенсивність зношування поверхонь тертя в АПН різних факторів можна записати:

$$\gamma = \begin{cases} f_1(N_{\text{ад}}); f_1(\Delta; f_{\text{ад}}; \text{MP}); \\ f_2(\dot{I}\hat{A}); f_2(T; E), \end{cases}$$

де $N_{\text{тер}}$ – потужність сил тертя;

Δ – зазор у парі тертя;

$f_{\text{тер}}$ – коефіцієнт тертя;

MP – поточний вид мастильного режиму на поверхнях тертя зумовлений наяв-

ністю в оливі присадок;

МВ – поточна мастильна властивість оливи, яка залежить від тривалості T її роботи в системі змащення та від впливу на неї магнітного оброблення E .

Таким чином, дослідження щодо підвищення ресурсу АПН ЕУ АНТ передбачає експериментальне визначення змін змащувальної властивості оливи під дією зовнішнього МП та з додаванням різних типів присадок до її складу за умов магнітного оброблення.

Знос є основною причиною, що призводить до виходу АПН з ладу в процесі експлуатації, тому підвищити ресурс цього вузла потрібно через зниження інтенсивності зношування. Явище зношування відбувається у вигляді сукупності складних взаємопов'язаних між собою процесів і зумовлено різними за своєю природою факторами [46 – 49]. За результатами аналізу ступеня впливу цих факторів на інтенсивність зношування поверхонь тертя у АПН, серед яких виділено найбільш впливові, що зведені до трьох груп:

$$I = f(\Phi_H; \Phi_Y; \Phi_T),$$

де Φ_H – фактори, що залежать від зовнішніх навантажень на поверхні тертя;

Φ_Y – фактори, що встановлюють зв'язок виду режиму змащення з характером взаємодії поверхонь тертя;

Φ_T – фактори, що враховують властивості матеріалів поверхонь тертя.

На підставі загальних фізичних закономірностей [46, 48, 50, 51] теорії зношування сполучень машин при експлуатації і з використанням зазначених вище факторів пропонується така модель базового ресурсу АПН (рис.2.2).

$$R_{\delta} = \frac{U}{I_{\delta}}$$

$$\sum \Phi_Y \quad \sum \Phi_T \quad \sum \Phi_H$$

Рисунок 2.2. – Загальна модель базового ресурсу АПН

У групі факторів Φ_H враховується характер інтенсивності зношування поверхонь елементів АПН, у процесі експлуатації від сукупної дії на них навантажень та швидкості.

Фактори Φ_y вказують на залежність зносу поверхонь від напруженості роботи вузлів тертя у процесі експлуатації. У цю групу входять показники, що характеризують, з одного боку, умови роботи (тиск і температуру в зоні тертя, частоту обертання, зазор), а з іншого, – ефективність використання ММ.

Фактори групи Φ_T встановлюють зв'язок зносу сполучення з значенням коефіцієнта зовнішнього тертя. До них належать параметри мікрорельєфу поверхонь, комплекс пружно-міцнісних, фрикційних та адгезійних властивостей матеріалів сполучення.

Таким чином, можна стверджувати, що ресурс АПН – це час роботи ЕУ АНТ, упродовж якого пари тертя в АПН, під час експлуатації здатні функціонувати до моменту досягнення ними граничної величини лінійного зносу.

Згідно із працями [46, 48, 51] швидкість зношування прецизійних пар в АПН зі збільшенням зазору зростає. Під час експлуатації зазор у парі тертя циліндр-поршень збільшується від монтажної величини – $\Delta_m = 20 \dots 30$ мкм до граничної – $\Delta_{гр} \geq 190$ мкм. Поле лінійного зносу U складається із суми n однакових елементарних ділянок ∂U і залежно від монтажного зазору становить $145 \dots 160$ мкм. Його можна подати у вигляді:

$$U = n \cdot \partial U,$$

де ∂U – величина елементарного зносу.

Таким чином, ресурс можна визначити за формулою:

$$R = \partial U \left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} + \dots + \frac{1}{\gamma_n} \right) \cdot v^{-1} = \sum_{i=1}^n \partial R_i,$$

де R – величина ресурсу;

v – швидкість тертя;

γ_i – інтенсивність зношування на i -й ділянці лінійного зносу ∂U ;

∂R_i – елементарний відрізок ресурсу, що відповідає i -й ділянці лінійного зносу.

Базовий ресурс вузла:

$$R_{\delta} = \frac{U \cdot v}{\gamma_{\delta}},$$

де γ_{δ} – базова інтенсивність зношування (інтенсивність зношування на кожній з елементарних ділянок ∂U).

Базова інтенсивність зношування на i -й ділянці:

$$\gamma_{\delta i} = \gamma_0 \cdot k_{\Delta i},$$

де γ_0 – умовна одиниця вимірювання інтенсивності зношування;

$k_{\Delta i}$ – коефіцієнт інтенсивності зношування, що залежить від зазору.

Фактична поточна величина інтенсивності зношування на кожній з ділянок зносу ∂U має змінюватися під впливом комплексу факторів, тобто:

$$\gamma_i = \gamma_{\delta i} \cdot k_{Ti} \cdot k_E,$$

де k_{Ti} – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалів поверхонь тертя;

k_E – коефіцієнт, що враховує вплив зовнішніх силових полів.

Визначення саме цих коефіцієнтів і дозволяє зробити висновки про зміну ресурсу під впливом конкретних факторів, зокрема МП та присадок з різною спорідненістю із МП.

Тому метою виконаного модельного експерименту є:

– встановлення адекватного зв'язку між швидкістю зношування в парі «поршень-циліндр» (натурою) та експериментальними зразком (моделлю);

– визначення значень коефіцієнтів впливу k_{Ti} та k_E , які уточнюють темпи вироблення базового ресурсу залежно від зміни мастильних властивостей оливи за час експлуатації та внаслідок дії на неї зовнішнього МП.

Тертя в АПН розглядалося як ізотермічний і стаціонарний процеси, а його основні гідромеханічні параметри – кінематична в'язкість оливи, теплопровідність і теплоємність є постійними в межах дослідження. Мастильний шар за граничного тертя розглядався як система утворених на поверхнях тертя рідинних мікро клинів.

Функціональна залежність зношування пари «поршень-циліндр» в АПН при граничному змащуванні має вигляд [52]:

$$I = \phi \left[p; v; L; f; \theta; t; \left(\frac{B}{d} \right); \psi; \left(\frac{R_z}{r} \right); \left(\frac{R_{z1}}{R_{z2}} \right); \left(\frac{H_1}{H_2} \right); \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right); \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right); \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right); \dots \right],$$

де I – зведений об'ємний знос;

p – питоме навантаження;

v – швидкість ковзання;

L – довжина шляху тертя;

f – коефіцієнт зовнішнього тертя;

θ – температура тертя;

t – тривалість тертя;

$\frac{B}{d}$ – відношення довжини поршня до його зовнішнього діаметра;

ψ – відносний зазор;

$\frac{R_z}{r}$ – відношення висот нерівностей до радіусів закруглень шорсткості поверхонь тертя;

$\frac{R_{z1}}{R_{z2}}$ – відношення висот нерівностей поверхонь профілю поршня та циліндра;

$\frac{H_1}{H_2}$ – відношення твердості поверхонь тертя;

$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$ – відношення опорів на зріз матеріалів поверхонь тертя;

$\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ – відношення теплопровідності матеріалів поверхонь тертя;

$\frac{\rho_1}{\rho_2}$ – відношення густин матеріалів поверхонь тертя.

З метою додержання адекватності моделі та натурі розв'язано [52] рівняння подібності за умови:

$$f_M = f_N; \dots; \theta_M = \theta_N,$$

де f_M, f_N – коефіцієнти тертя поверхонь моделі та натурі;

θ_M, θ_N – температура тертя поверхонь моделі та натурі.

За результатами модельного експерименту та відповідно розглянутої математичної моделі необхідно встановити середню швидкість лінійного зношування поверхні тертя та перевірити адекватність отриманих результатів визначенням величини базового ресурсу пари «поршень-циліндр» АПН. Якщо розбіжність отриманого експериментально базового ресурсу не буде відрізнятися від ресурсу, що встановлюється нормативно-технічною документацією на досліджуваний АПН, більше ніж на 15 %, тоді можна буде стверджувати, що результати отримані в експериментах, зокрема коефіцієнти k_{Ti} та k_E , можна перенести і на процеси, що відбуваються в АПН в процесі експлуатації.

2.2. Концептуальна модель зносу за умов впливу магнітного поля на мас- тильний матеріал

Будь-який простий механізм або складний пристрій завжди має як вхідні характеристики, так і вихідні параметри, які диктуються умовами експлуатації, призначенням пристрою та його можливостями. Вузли механізмів для виконання певної роботи беруть на себе не лише зовнішні, але й технологічні навантаження в сукупності із впливом навколишнього середовища.

Дискретність процесу взаємодії поверхонь тертя вносить істотні особливості в метод аналізу явища тертя. Перша з них полягає в тому, що процеси у фрикційних механізмах зумовлюються взаємодіями на трьох рівнях: мікрорельєфі, субмікрорельєфі та молекулярному. Друга особливість виражається в тому, що на кожному з цих трьох рівнів елементарні акти взаємодії являють собою безповоротні трансформаційні енергетичні цикли, інтенсивність, тривалість і місце положення яких випадкові. Тому процес тертя в енергетичному аспекті є результатом впливу великої кількості елементарних вхідних параметрів (рис.2.3).

Теоретично можна приблизно передбачати умови тертя, що виникають у конкретному технологічному вузлі під час експлуатації з урахуванням зовнішніх впливів середовища, умов роботи та сукупності матеріалів.

Основними факторами, що впливають на зниження інтенсивності зношування у процесі експлуатації, є вплив на робоче середовище та якість використовуваного матеріалу.

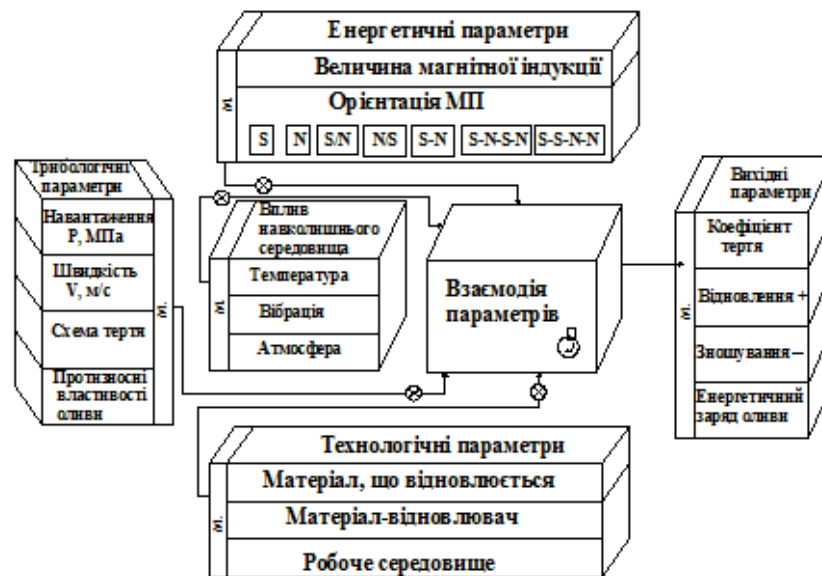


Рисунок 2.3. – Модель взаємодіючих параметрів зниження інтенсивності зношування поверхні тертя під впливом МП на ММ

Механічні параметри захисних плівок, що утворюються в умовах тертя займають важливе місце у властивостях поверхневих плівок і впливають на стан усієї трибологічної системи.

Вивчення процесів, що впливають на робочу зону під дією МП на ММ, потребує врахування комплексного впливу вхідних параметрів різного походження, що ускладнює умови дослідження, тому для покрокового механізму дослідження їх дії на перетворення робочого вузла їх поділено за енергетичною спрямованістю на три основні групи (рис.2.3). Структура моделі містить детерміновані процеси фізичних явищ кожного з блоків [53]:

1. Технологічний блок охоплює в себе характеристики матеріалів, з яких виготовляють вузли системи змащення ЕУ АНТ та робочого середовища.

2. Основними експлуатаційними вхідними параметрами системи є: навантаження, швидкість, схема тертя. Умовою існування трибопари є зниження інтенсивності зношування до рівня технологічно заданих умов експлуатації. Для модельного дослідження трибосистеми, як найбільш адекватну, застосовано схему тертя палець-площина.

3. У блоці «енергетичні параметри системи» зосереджені параметри керувального характеру. Сукупність зовнішніх енергетичних складових є основним вхідним

параметром для зміни стану трибосистеми у процесі напрацювання.

4. Підвищення енергетичного заряду у блоці «взаємодія параметрів» є енергетично залежною складовою трибологічного процесу, за якої взаємодіють усі вхідні параметри.

5. Характеристикою трибосистеми є вихідні параметри: коефіцієнт тертя, відновлення або зношування. Для відновлення поверхні або її підтримання в розрахунковому режимі використовується вплив МП на ММ для перенесення матеріалу відновлювача. Проведений аналіз дає можливість поетапно контролювати вплив вхідних параметрів на експлуатаційні характеристики вузла тертя для зниження інтенсивності зношування поверхні тертя в робочому середовищі обробленому МП.

Наведені параметри у сукупності беруть участь у формуванні протизносних характеристик поверхневих шарів і утворенні проміжного шару (третього тіла).

2.3. Метод визначення характеристик процесу зміни експлуатаційних властивостей моторної оливи

Для визначення зміни енергетичних параметрів оливи в МП розроблено пристрій для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів (рис.2.4) [54]. Цей пристрій дозволяє контролювати величину енергетичного заряду оливи в МП за допомогою зміни її кольору під час проходження променя білого світла крізь шар оливи перпендикулярно до магнітних ліній (табл.2.1).

Таблиця 2.1. – Характеристика випромінювання кольору

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм	Діапазон частот, ТГц	Діапазон енергії, еВ
Фіолетовий	380...440	790...680	2,82...3,26
Синій	440...485	680...620	2,56...2,82
Блакитний	485...500	620...600	2,48...2,56
Зелений	500...565	600...530	2,19...2,48
Жовтий	565...590	530...510	2,10...2,19
Оранжевий	590...625	510...480	1,98...2,10
Червоний	625...740	480...400	1,68...1,98

Пристрій складається з комп'ютера для фіксації зображення енергоінформаційних змін у досліджуваному середовищі 1, джерела світла 2, об'єктива для оброблен-

ня світла 3, постійних магнітів, що створюють МП для оброблення рідиннофазного матеріалу 4, діелектричної скляної ємності 5, поміщеної між магнітами та досліджуваним матеріалом, мікроскопа МПД-1У11 6, фотокамери Quick Cam Express 7.

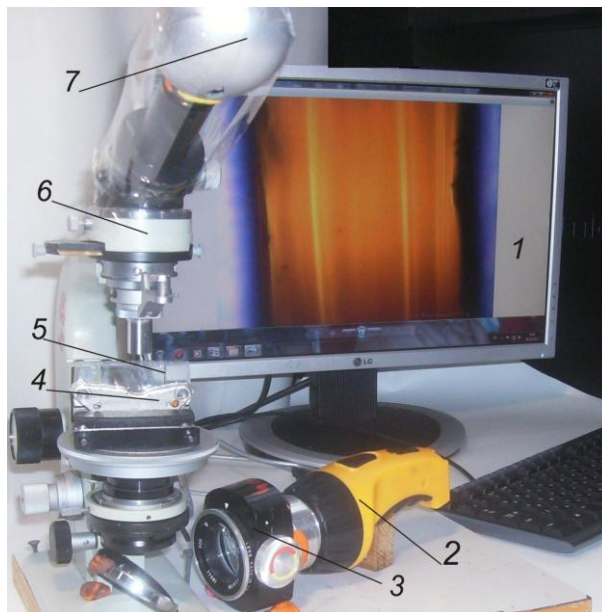


Рисунок 2.4. – Пристрій для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у МП

Діелектричну скляну ємність 5 поміщують між двома постійними магнітами 4. Потім наповняють її оливою та поміщують на оптичній осі мікроскопа 6. За допомогою джерела світла 2 та об'єктива для оброблення світла 3, пропускають промінь білого світла через досліджуваний рідиннофазний матеріал, що перебуває під дією МП, величина індукції якого становить 0,3 Тл. Далі за допомогою фотокамери 7, що кріпиться на окуляр мікроскопа 6, опрацьовують і фіксують зображення енергоінформаційних змін в оливі на моніторі комп'ютера 1. Необхідні результати записують та зберігають на електронних носіях.

Таким чином, досліджують зміну енергетичного заряду оливи залежно від зміни її кольору під дією МП та без впливу, а саме оранжевий колір характеризується енергією світла 1,98 еВ (без впливу МП), а зелений – 2,48 еВ (під дією МП).

Сегмент пристрою (рис.2.5,а) для дослідження рідиннофазних речовин у МП складається з джерела світла 1, об'єктива для оброблення світла 2, постійних магнітів

3, що створюють МП для оброблення рідиннофазного матеріалу, діелектричної скляної ємності 4, поміщеної між МП та досліджуванним матеріалом, об'єктива мікроскопа 5.

Схему розміщення магнітів для дослідження впливу МП на оливу показано на рис. 2.5,б, на якому 1 – об'єктив мікроскопу, 2 – постійні магніти, 3 – фокусуючий об'єктив мікроскопу, 4 – оптична вісь проходження променя білого світла.

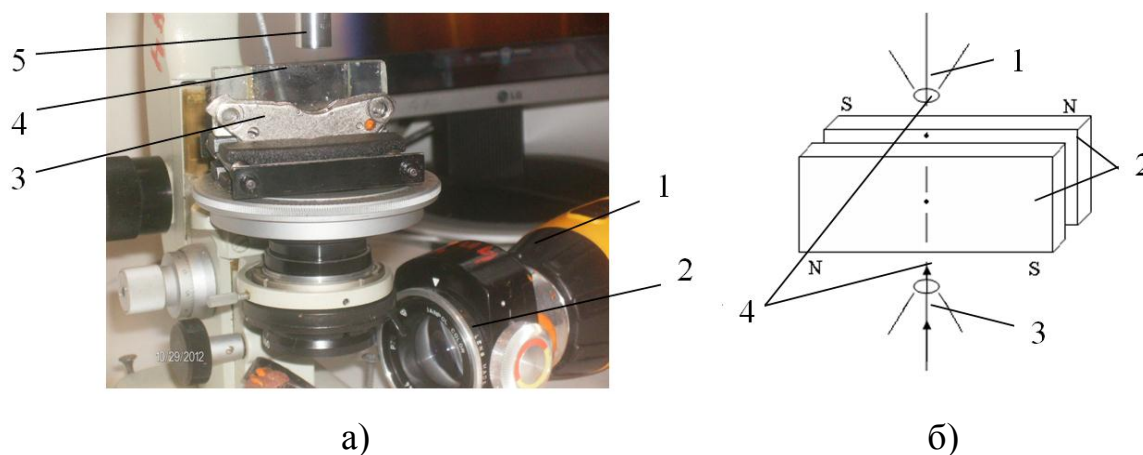


Рисунок 2.5. – а) Сегмент пристрою для дослідження рідиннофазних речовин в МП та б) схема розміщення магнітів для дослідження впливу МП на оливу.

Таким чином, запропонований метод [55] дослідження зміни енергетичного заряду рідиннофазних вуглецевих матеріалів у МП дає можливість фіксувати зміни енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів під впливом МП.

Важливим показником у процесі експлуатації є кінетика розтікання оливи по поверхні [56]. Для визначення впливу МП на величину кінетики розтікання використовувався магніт (0,15 Тл), розміщений під поверхнею. Оливу однакового об'єму крапельним методом нвносили на поверхнях сталі або латунного сплаву безпосередньо на полюсах магніта. Для дослідження застосовували моторну оливу М10Г2к. Поверхні виконано зі сталі 30ХГСА і ЛС59-1 та шліфуванням доводилися до рівня шорсткості $R_a = 1 \dots 3$ мкм з наступним очищенням поверхонь (знежирення). Після цього у кожному з описаних випадків визначали зміну площі розтікання краплини за період 60 хв методом накладання мірної решітки на краплину в полі зору мікроскопу, зміна площі якої свідчила про рівень кінетики розтікання на поверхні.

2.4. Метод визначення залежності зміни технічного стану робочих поверхонь від часу напрацювання та параметрів магнітного оброблення оливи

Для спостереження та візуального контролю параметрів утворення захисних плівок (товщини, площі та топографії) у режимі тертя було розроблено пристрій на тертя та зношування [57, 58], який дозволяє за допомогою мікроскопа проводити моніторинг процесу тертя з метою вивчення зміни топографії поверхні під дією МП на робоче середовище (рис.2.6) у динамічному режимі й оцінити кількісні та якісні параметри утворених поверхневих плівок у робочій зоні [59].

Основою конструкції пристрою є вузол тертя, з'єднаний з металографічним мікроскопом та комп'ютером. Робоче середовище у зону тертя подається крапельним методом або наливанням у спеціально спроектовану ванну, де забезпечуються умови змащення. У дні ванни вбудовано скло, яке виконує функцію контртіла з параметрами надтвердого хімічно нейтрального тіла з відмінною чистотою його поверхні тіла. Його прозорість дозволяє спостерігати зміни на робочій поверхні в процесі тертя. Згідно з результатами, отриманими у праці [60], дослідження проводили за швидкостей 0,1, 0,5 та 1 м/с та навантажень 0,5, 1,0 та 1,5 МПа, що відповідає процесам, які відбуваються безпосередньо в досліджуваній зоні тертя АПН. Це можна також перевірити такими розрахунками.

Для пари «поршень-циліндр» навантаження в зоні тертя знаходимо за формулою:

$$M_{\text{кон}} = \frac{F_{\text{кон}}}{S_{\text{кон}}},$$

де $F_{\text{кон}}$ – сила, з якою поршень притискається до циліндру, Н;

$S_{\text{кон}}$ – площа контакту, м².

Площу контакту можна визначити за формулою:

$$S_{\text{кон}} = \pi \cdot \frac{d_{\text{п}}}{2} \cdot h_{\text{п}},$$

де $d_{\text{п}}$ – діаметр поршня, м;

$h_{\text{п}}$ – хід поршня, м.

Сила, з якою поршень притискається до циліндра розраховується з таких міркувань. Якщо в зоні нагнітання гідромашина у процесі експлуатації розвиває середній тиск p_2 (в даному випадку 12,8 МПа), тоді на поршень у цій зоні діє сила:

$$F = p_2 \frac{\pi \cdot d_{\text{п}}^2}{4}.$$

Це зусилля передається в точку контакту поршня та нахиленої шайби, де розкладається на дві складові. Одна з них напрямлена по нормалі до поверхні шайби і є реакуванням шайби F_N , друга розміщена у площині, нормальній до осі обертання ротора, F_T .

Із трикутника сил впливає:

$$F_T = F_{\text{кон}} = F \cdot \text{tg}(\beta) = p_2 \cdot \text{tg}(\beta) \frac{\pi \cdot d_{\text{п}}^2}{4},$$

де β – кут нахилу шайби.

Таким чином, навантаження в зоні тертя:

$$M_{\text{кон}} = p_2 \cdot \text{tg}(\beta) \frac{d_{\text{п}}}{2 \cdot h_{\text{п}}} = 12,8 \cdot \text{tg}(0,192) \cdot \frac{0,012}{2 \cdot 0,01} = 1,493 \approx 1,5 \text{ МПа}.$$

Тобто верхнє значення діапазону навантажень у дисертаційних дослідженнях вибрано обґрунтовано.

Оскільки дослідження пар тертя метал-метал не дає змоги проводити візуальні дослідження на поверхні, то в каретку вбудовано акустичний датчик, за допомогою якого знімались та оброблялись вібраційні коливання в процесі тертя за допомогою комп'ютерної програми SpectraLab. Процес формування та росту плівок в умовах тертя супроводжується підвищенням сили вібрації, яка виглядає як підняття вібраційної кривої по всьому діапазону. У момент зриву плівки з поверхні металу на частотах 10...20 кГц спостерігається сплеск вібраційного піку на кривій. Для зменшення вібраційного впливу сторонніх механізмів усі деталі пристрою виготовлені з неметалевих матеріалів, підшипники та деталі тертя – із фторопласту-4. Момент тертя вимірюється тензOMETричним методом та за зміною струму, що проходить через двигун.

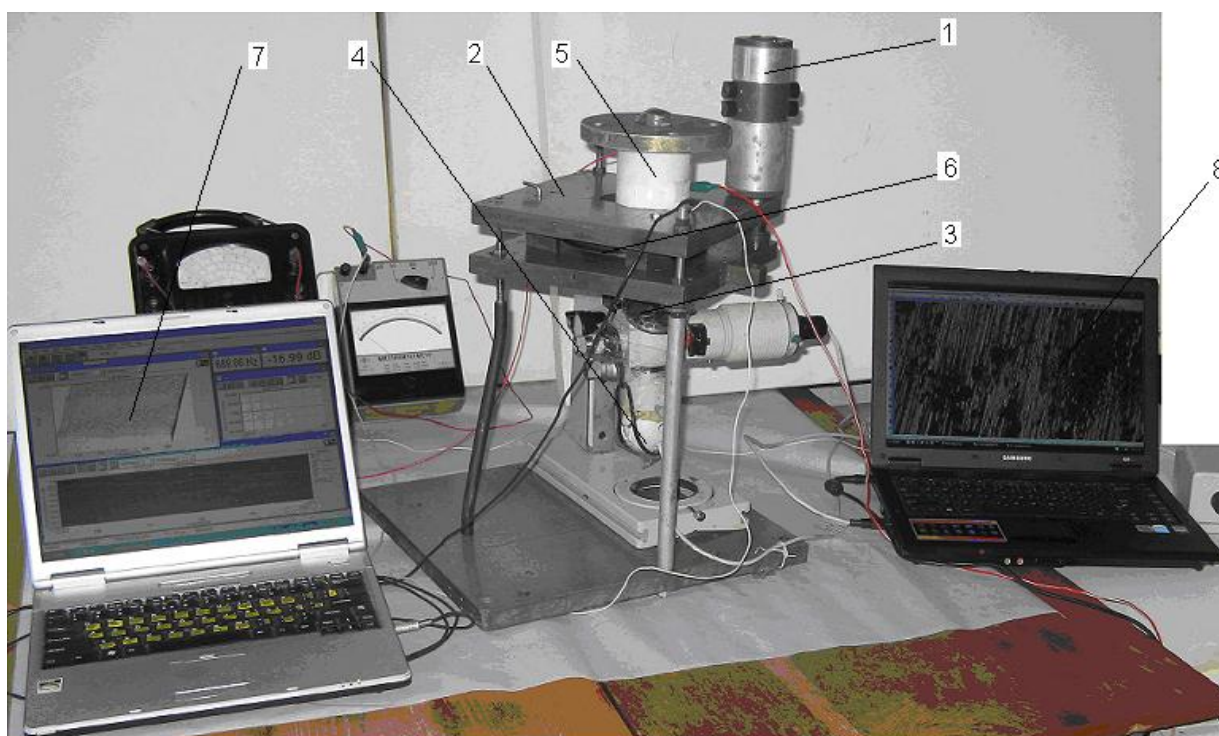


Рисунок 2.6. – Загальний вигляд пристрою на дослідження тертя та зношування

У спроектованому пристрої використано постійні магніти (6), які вмонтовано один навпроти одного під площиною контртіла і над нею так, щоб їх силові лінії були напрямлені крізь об'єм робочого середовища та розміщувалися якомога далі від поверхні тертя.

Пристрій містить стандартний мікроскоп Метам Р-1 3, перероблений відповідно до поставлених вимог і призначений для фотографування і трансформації оптичного сигналу в камеру Quick Cam Express 4. Фотокамера використовувалася зі стандартним програмним забезпеченням для оброблення сигналу на комп'ютері 8, з подальшим записуванням на електронні носії інформації. Статор 5 тензометричної балки, на якому закріплюється робочий зразок – диск з контртілом, до якого тензометричною балкою притискається робочий зразок, а її тензодатчик з'єднано з приладом, що реєструє сигнал. Двигун 1 виведений за межі станини 2, на якій закріплені вузол тертя і акустичний мікрофон, до якого через екранований кабель підключений комп'ютер 7 забезпечений програмою SpektraLAB для оброблення сигналу зразка, що надходить від переміщення по контртілу, розміщеному горизонтально.

Візуальне спостереження дозволяє контролювати кінетику утворення вторин-

них структур на поверхні зразка, при цьому фіксуючи стан робочих поверхонь у процесі напрацювання. Використовуючи запропонований метод дослідження, можна спрогнозувати поведінку захисної плівки, їх швидкість утворення залежно від впливу постійного МП на середовище в умовах тертя по поверхні металу або скла.

Дослідження проводились за схемою площина – палець. Зразок діаметром 3...5 мм проходить шлях приблизно в 90 разів більший, ніж така сама точка на поверхні контртіла ($C = 2\pi r = 2 \cdot 3,14 \cdot 45 = 282,6$ мм) до наступного дотикання з нею. Використовуючи механізми переміщення каретки зі зразком, положення зразка відносно поверхні контртіла можна змінювати. Отже, можна проводити експеримент по новій поверхні, залишивши радіус контртіла для фотографування, що значно підвищує якість фотодосліджень.

Візуальне спостереження за поведінкою продуктів відпрацювання поблизу робочої зони дозволяє зробити експрес-аналіз їх розмірів, характеристик зовнішнього вигляду та місце перебування.

У робочу зону можна подавати різні робочі рідини наливанням або крапельним методом у спеціально спроектований піддон.

Для визначення робочих параметрів пари метал по металу замість скла можна використовувати контртіло з відповідного матеріалу, але тоді проаналізувати стан поверхні без розбирання вузла неможливо. Однак можливим є використання методу нагромадження даних по нейтральному контртілу склу за умов тертя-ковзання, знаючи, що зношування й механізм його розвитку тісно пов'язані зі станом змащувального шару [58], який в обох зазначених модельних парах однаковий та подальшим перенесенням результатів на пару тертя метал по металу.

Використовуючи програму SpectraLAB нами були отримані залежність сили вібрації від частоти в умовах тертя для різних типів досліджуваних пар тертя (рис.2.7).

Установлено, що в момент наростання плівок у процесі тертя супроводжується додатковою силою вібрації у вигляді підняття загальної частотної кривої по всьому діапазону сигналу (рис.2.8).

У момент зриву захисної плівки з поверхні металу спостерігається сплеск частотної складової у вигляді піків (рис.2.9).

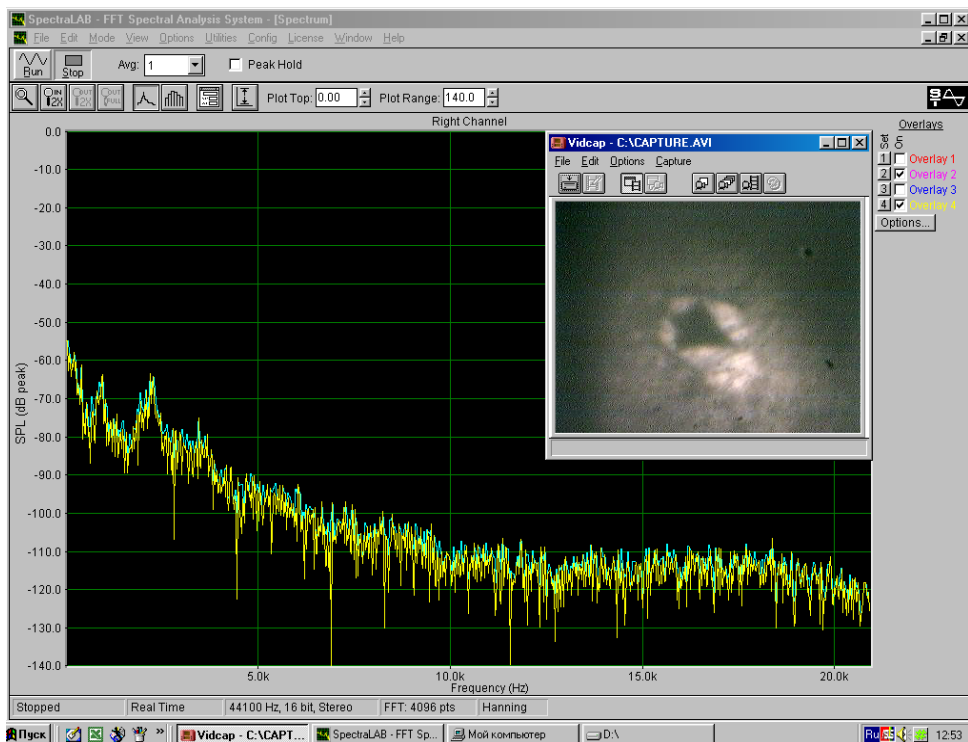


Рисунок 2.7. – Залежність сили вібрації від частоти сталі 45 по склу в обробленій МП оливі М10Г2к

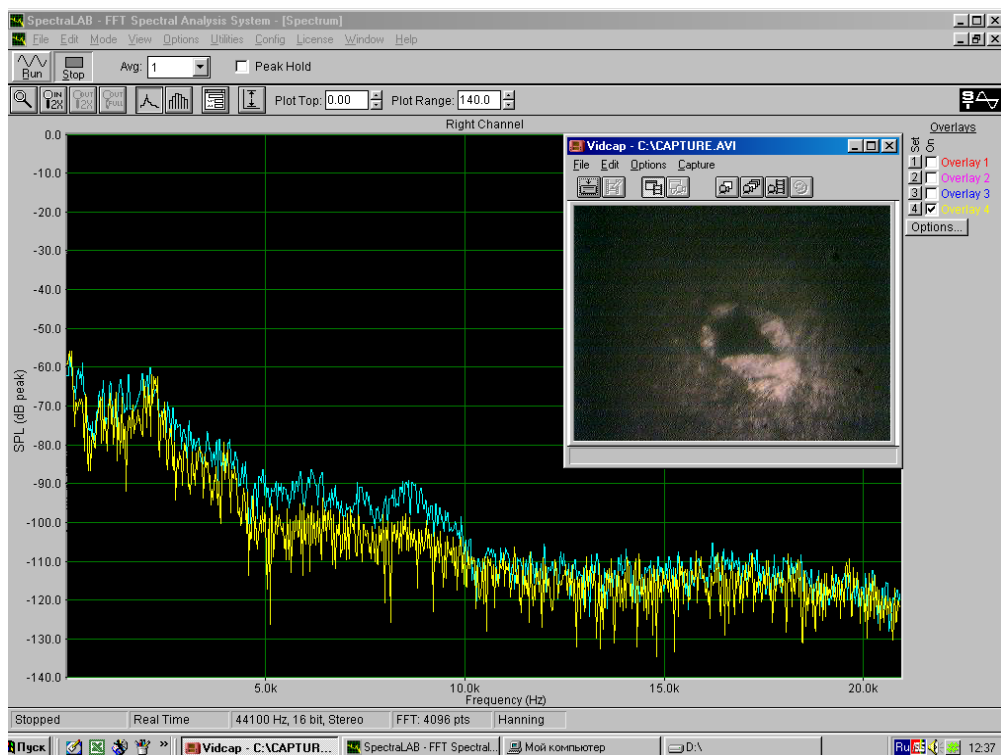


Рисунок 2.8. – Частотні характеристики поверхні сталі 45 по склу в обробленій МП оливі М10Г2к в момент наростання захисної плівки

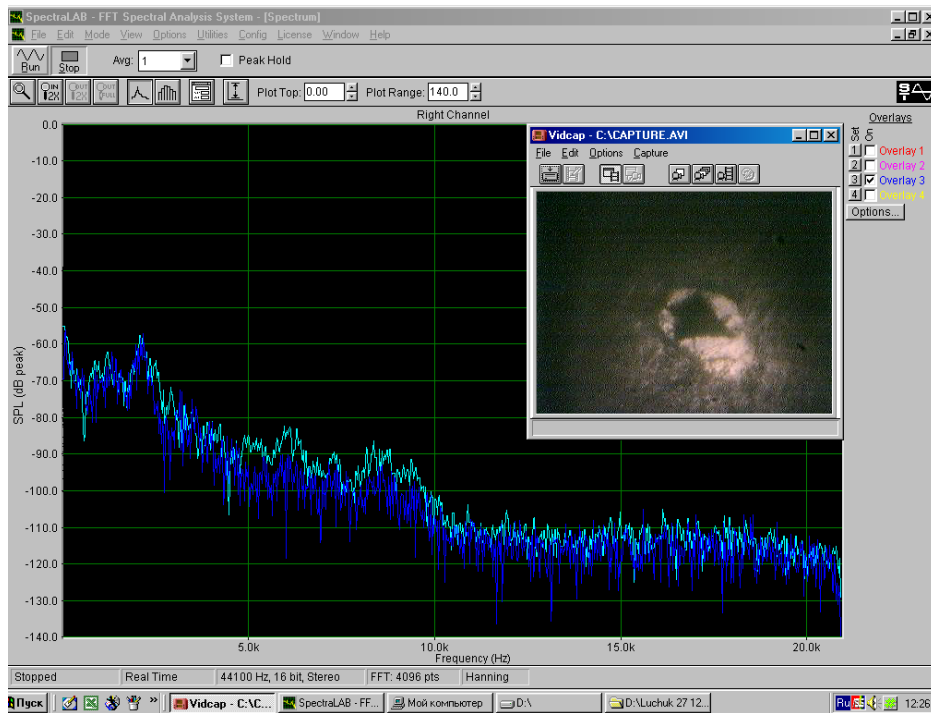


Рисунок 2.9. – Частотні характеристики робочої поверхні сталі 45 по склу в обробленій МП оливі М10Г2к в момент зриву захисної плівки

Найбільш сприятливими були б умови, у яких захисна плівка на робочій поверхні не перешкоджала б перебігу поверхневих деформаційних процесів. У разі тертя метал по металу цього досягти неможливо з огляду на те, що в такому разі поверхні взаємодіють у точках дійсного контакту, де тиски досягають значень, які перевищують міцність м'якшого металу матриці. У цих місцях відбувається деформація металу та руйнування поверхневої плівки. Однак присадки, що містяться в оливі, реалізують ефект незношування – на робочих деталях у процесі роботи вузлів формується тонка захисна металева плівка, що самовідновлюється і важко піддається окисненню з введенням у ММ присадок. Товщина плівки становить від декількох атомних шарів до 1...2 мкм.

Проведені дослідження з використанням запропонованого методу довели можливість зниження інтенсивності зношування за рахунок зміни напряму процесів, що відбуваються в робочій зоні поверхонь та активування середовища і спрямування енергетичного балансу в парі тертя під впливом дії магнітних силових ліній [61- 63].

Установка магнітів змінювалась у процесі напрацювання робочої пари залежно від вимог і завдань експерименту (рис.2.10).

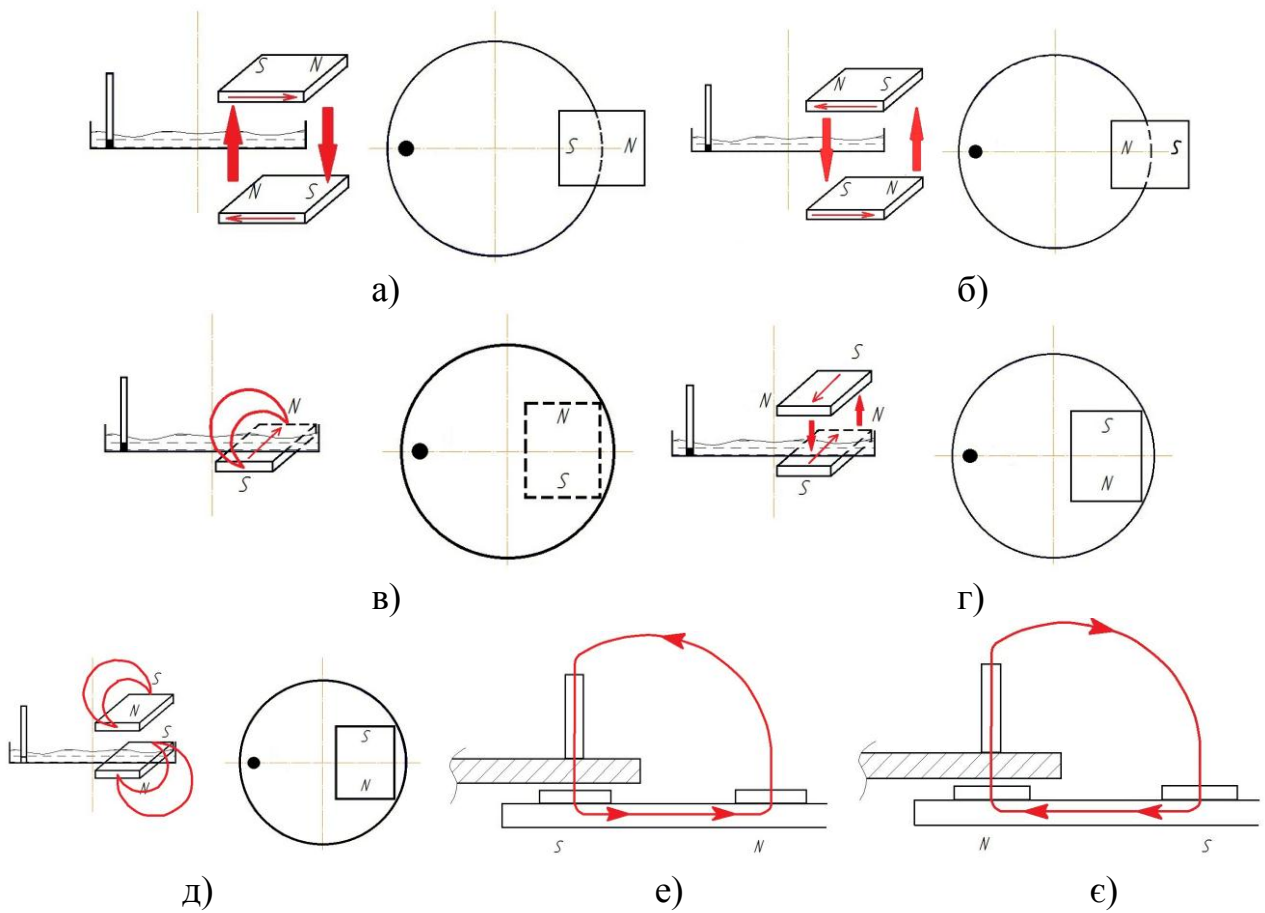


Рисунок 2.10. – Схеми розміщення МП відносно змащувального середовища та робочої поверхні

2.5. Підготовка матеріалів для експериментальних досліджень і прилади для вивчення та оброблення результатів

Вибір модельного матеріалу є складним завданням, оскільки практичне машинобудування має великий досвід та засоби для підбору пар тертя залежно від умов експлуатації і впливу навколишнього середовища.

Основні дослідження проводилися для матеріалів, що застосовуються у прецизійних парах ЕУ АНГ, таких як:

- вуглецеві сталі: сталь 2, сталь 3 для модельних досліджень;
- скло (модельний матеріал) контртіло;
- сталь 45 (загартована на мартенсит), 30ХГСА, ШХ15;
- латунний сплав ЛС59-1 (діамагнітний матеріал).

Досліджуванні рідини: олива моторна М10Г₂ (мінеральна), олива моторна

5W40 (синтетична), олива індустріальна I20-A (базова олива без присадок).

Модифікаторами до робочого середовища були: Ni – феромагнетик, Sn – парамагнетик, Cu – діамагнетик, ХАДО – геомодифікатор.

Під час проведення експериментів використовувалися два методи: 1) гравітаційний за різницею маси до і після дослідження; 2) вимірювання лінійного розміру з використанням для бази укол піраміди з кутом 136° .

Перед дослідженнями поверхня зразка полірувалася після чого на розглянутому вище пристрої протягом приблизно двох хвилин зразок притирався до появи плями контакту, зовнішній вигляд якої контролювався на екрані монітора. Потім зразок ретельно протирали спиртом і висушували.

До проведення експерименту зразок зважували на терезах АДВ-200М з точністю до 10^{-4} г і замірювали лінійні розміри діагоналей уколу піраміди твердоміром ПМТ-3. По закінченні експерименту зразок знову зважували та замірювали розміри діагоналей. Далі виконували розрахунки з визначення зношування або відновлення поверхні тертя. Зважування проводили для визначення збільшення чи зменшення маси зразка, оскільки лінійні заміри після експерименту, в обох випадках будуть менші за початкові. Життєвий цикл захисної плівки в динаміці визначався часовим фактором.

Структурний та фазовий склади досліджували методами металографічного аналізу на оптичних мікроскопах МІМ-7, ПМТ-3, ММР-2Р, Neophot-21, РЭМ-106И (растровому електронному мікроскопі), Camscan-4DV з приставкою Link-860.

Характеристики поверхні досліджувалися на приладі Мікрон-альфа [64] безконтактному 3D профілографі, який дає змогу в реальному масштабі часу досліджувати мікротопографію поверхонь методом оброблення послідовності інтерференційних картин цифровою камерою з комп'ютерним керуванням.

За допомогою оптичних мікроскопів МІМ-7, ММР-2Р, ПМТ-3 проводили металографічні дослідження робочих поверхонь.

Для дослідження вторинних структур на поверхні використано оже-спектрометр.

Растрова електронна мікроскопія, тобто використання для оброблення отрима-

них результатів електронного растрового мікроскопа із системою енергодисперсного мікроаналізу РЕМ-106І, дозволила визначити дійсні розміри поверхневих плівок та їх хімічний склад, а також лінійні розміри та параметри мікрорельєфу поверхні різних об'єктів у твердій фазі, виміряти масову частку елементів у складі об'єктів методом рентгенівського мікроаналізу для дослідження поверхні непровідних об'єктів без спеціальної підготовки в режимі низького вакууму.

Ще одним етапом дослідження робочої поверхні під дією МП на робоче середовище були рентгенографічні дослідження. Як монохроматор використовували монокристал графіту встановлений на дифрагованому пучку. Дифрактограми знімали методом крокового сканування в інтервалі кутів $18...90^\circ$. Крок сканування становив $0,05$ град., час експозиції в точці $7...9$ с. Обробку даних дифрактометричного експерименту здійснювали з використанням програми для повнопрофільного аналізу рентгенівських спектрів від суміші полікристалічних фазових складових PowderCell-2.4. Аналіз дифракційних профілів і виділення істинного фізичного розширення піків проводили методом апроксимацій. Магнітну індукцію вимірювали магнітометром. Оброблення і аналіз результатів експериментальних досліджень виконували за допомогою MatLab.

2.6. Математичне моделювання експериментальних досліджень

Математичне оброблення результатів досліджень проводили з використанням математичної теорії планування експерименту та математичної статистики, що дозволило використовувати математичний апарат не тільки для оброблення результатів досліджень, але під час підготовки та проведення експериментів [65 – 67].

Зокрема був виконаний розрахунок оцінки впливу питомого навантаження P , швидкості V , магнітної індукції B і температури оливи T у МП при дослідженнях рівня інтенсивності відновлення/зношування робочих поверхонь.

За рекомендаціями, сформульованими в праці [68], як математичну модель вибрано квадратичну модель:

$$y = \sum_{u=0}^N b_u X_u + \sum_{u \leq j} b_{uj} X_u X_j + \sum_{u=1}^N b_{uu} X_u^2, \quad (2.2)$$

де b_u – коефіцієнти математичної моделі, що показують ступінь впливу цього фактора на функцію відгуку;

X_0 – фіктивна змінна, яка дорівнює одиниці;

b_{uj} – коефіцієнт, що характеризує парну взаємодію.

Фактори планування експерименту наведено в табл.2.2.

Таблиця 2.2. – Фактори планування експерименту

Трибологічні			Технологічні		
Навантаження, МПа	Швидкість, м/с		Магнітна індукція, Тл	Температура оливи в МП, °С	
0,50	0,10		0,00	24,7563	
1,00	0,50		0,15	23,5877	
1,50	1,00		0,30	24,1310	
Трибологічні			Енергія оливи, еВ		
Зношування, мкм/км	Відновлення, мкм/км	Коефіцієнт тертя			
Y_1	Y_{1B}	f			2,48
Y_2	Y_{2B}	f			1,98
Y_3	Y_{3B}	f			2,19

Значення вибраних рівнів варіювання факторів наведені у табл.2.3.

Таблиця 2.3. – Рівні варіювання факторів та інтервали їх варіювання

Інтервал варіювання та рівень факторів	Кодове по- значення	P , МПа	V , м/с	B , Тл	T оливи в МП, °С
		X_1	X_2	X_3	X_4
Нульовий рівень	0	1,00	0,55	0,15	24,17
Інтервал варіювання	δ_i	0,50	0,45	0,15	0,58
Верхній рівень	+1	1,50	1,00	0,30	24,76
Нижній рівень	-1	0,50	0,10	0,00	23,59

Для оцінювання коефіцієнтів рівняння (2.2) був використано повний факторний експеримент типу 2^4 . Матрицю планування експерименту з розрахунковими стовпцями взаємодії факторів подано в табл.2.4. Кожен дослід рандомізовано за допомогою генератора випадкових чисел.

Середнє значення параметра оптимізації за паралельними дослідями визнача-

лось за формулою:

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{r} \sum_{u=1}^r y_{1u}.$$

Таблиця 2.4. – Матриця розрахунку коефіцієнтів чотирьохфакторної моделі експерименту

№ досліджу	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃ =X ₁ X ₂	X ₄ =X ₁ X ₃	y
1	+	–	–	+	–	y ₁
2	+	+	–	–	–	y ₂
3	+	–	+	–	+	y ₃
4	+	+	+	+	+	y ₄
5	+	–	–	+	–	y ₅
6	+	+	–	–	–	y ₆
7	+	–	+	–	+	y ₇
8	+	+	+	+	+	y ₈

Для розглянутої постановки завдання виявлено два фактори: температура і швидкість, якими можна знехтувати, оскільки вплив цих параметрів не є таким, що превалює в процесі відновлення робочих поверхонь.

Після побудови матриці планування експерименту можна безпосередньо приступати до його проведення. Кожну експериментальну точку отримано за результатами трьох експериментів.

Дисперсію паралельних дослідів визначаємо за формулою:

$$s_1^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{u=1}^r (y_{1u} - \bar{y}_1)^2 = 0,143.$$

Для визначення можливості проведення регресійного аналізу розраховуємо однорідність дисперсій паралельних дослідів за критерієм Кохрена:

$$G_p = \frac{s_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N s_u^2} = \frac{0,06}{0,143} = 0,419.$$

Розрахункове значення критерію зрівнювали з табличним для степенів вільнос-

ті: чисельника $f_1 = r - 1$, знаменника $f_2 = N$ і відповідно за вибраним рівнем значущості $\alpha = 0,05$ [68]:

$$G_{\text{табл}} = 0,5157 > G_p = 0,419.$$

Отже, гіпотеза про однорідність дисперсій паралельних експериментів приймається. Звідси дисперсія відтворюваності:

$$s^2(y) = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N s_u^2 = \frac{0,143}{8} = 0,0179.$$

Похибку експерименту визначаємо за рівнянням:

$$s(y) = +\sqrt{s^2(y)} = \sqrt{0,0179^2} = 1,8 \% < 4,0 \% .$$

Коефіцієнти рівняння (2.2) з урахуванням матриці планування експерименту розраховували за допомогою MatLab.

Після розрахунку всіх коефіцієнтів рівняння (2.2) набуває вигляду:

$$Y = -3,44 + 4,0 \cdot X_1 + 90,44 \cdot X_3 - 3,33 \cdot X_1^2 - 161,15 \cdot X_3^2 - 12,0 \cdot X_1 \cdot X_3.$$

Статистичну значущість коефіцієнтів перевіряли за допомогою критерію Стьюдента [69].

Для повного факторного експерименту похибки всіх коефіцієнтів рівні між собою і визначаються за формулою:

$$s(b_i) = \frac{s(y)}{\sqrt{N_r}} = \frac{1,8}{\sqrt{8}} = 0,64.$$

Коефіцієнт є значущим, якщо його абсолютна величина більша від половини довжини довірчого інтервалу.

Далі визначаємо довірчий інтервал довжиною Δb за формулою:

$$\Delta b_i = t_{\text{кр}} s(b_i) = 2,31 \cdot 0,64 = 1,48$$

де $t_{\text{кр}}(0,05;8) = 2,31$ – критичне значення критерію Стьюдента 5 %-го рівня значущості.

У розглянутому випадку незначущих коефіцієнтів не виявлено, оскільки абсолютна величина кожного коефіцієнта більше від половини довжини довірчого інтервалу.

Далі рівняння (2.2) перевіряємо на адекватність.

Для перевірки гіпотези про адекватність подання результатів експерименту в знайденому рівнянні регресії досить оцінити відхилення, що розраховані за рівнянням регресії та результатами експерименту в різних точках факторного простору.

Розсіяння результатів експерименту відповідно до рівняння регресії характеризується залишковою дисперсією адекватності за заданого $f_{ад}$ [69]:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f_{ад}} \sum_{j=1}^m [I_j - M(I_j)]^2;$$

$$f_{ад} = m - z,$$

де $z = 6$ – кількість коефіцієнтів регресії, розрахованих за результатами експериментів незалежно один від одного;

$f_m = N = 8$ – кількість незалежних оцінок дисперсії.

Перевірка гіпотези щодо адекватності рівняння виконувалась за критерієм Фішера [69].

Модель адекватна, якщо виконується умова:

$$F = \frac{S_{аа}^2}{S^2(y)} \leq F(0,05; f_{аа}; f_m);$$

де $F(0,05; f_{ад}; f_m) = 4,74$ – критерій Фішера за 5 %-го рівня значущості;

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{8 - 6} 0,143 = 0,0715;$$

$$f_{ад} = m - z = 8 - 6 = 2,$$

тоді

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2(y)} = \frac{0,0715}{0,0179} = 3,99.$$

Оскільки $F = 3,99 < 4,74$, то рівняння (2.2) вважається адекватним, тому що виконується.

Таким чином, аналізуючи отримане рівняння, можна стверджувати, що найбільш значущим фактором для поліпшення експлуатаційних характеристик, зокрема зниження інтенсивності зношування робочих поверхонь у змащувальному середовищі, обробленому постійним МП, є величина магнітної індукції.

2.7. Аналіз змінювання характеристик олив та робочих поверхонь під дією постійного магнітного поля

Кожен магніт – це постійне джерело фотонів. Фотон – рухома дискретна складова, що складається з кванта електричного потоку і кванта магнітного потоку. Рухомий фотон утворює парціальні електромагнітні хвилі, які згідно з принципом Гюйгенса за рахунок інтерференції не випромінюються, а рухаються разом з фотоном як єдине ціле, являючи собою пакет парціальних хвиль у вигляді цугу. Якщо скласти два такі кванти, то отримаємо квант подвійної енергії, який зазвичай називають фотоном. Дотримання таких однакових груп квантів у вигляді фотонів представляє той або інший вид випромінювання. Фотони хоч і не мають маси, але мають різну енергію. Червоний промінь світла означає, що фотони, з яких він складається, мають енергію на рівні 1,68...1,98 еВ. Квантова гіпотеза Планка полягала в тому, що для елементарних частинок будь-яка енергія поглинається або випускається тільки дискретними порціями. Ці порції складаються з цілого числа квантів.

У разі зміни повного моменту ядра змінюється його стан, а саме внутрішня енергія. Зі статистичної фізики відомо [70], що відношення чисел протонів n з різними орієнтаціями магнітних моментів дорівнює:

$$\frac{n_{(+\mu)}}{n_{(-\mu)}} = e^{\frac{2\mu H}{kT}} \quad (2.3)$$

де H – напруженість МП, А/м;

μ – магнітний момент протону ($1,41 \times 10^{-26}$ Дж/Тл);

T – абсолютна температура рідини, К;

$n_{(+\mu)}, n_{(-\mu)}$ – заселеності рівнів;

k – стала Больцмана ($1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К);

Ядерна поляризація P за звичайних умов не значна та виражається формулою:

$$P = \frac{n_{(+\mu)} - n_{(-\mu)}}{n_{(+\mu)} + n_{(-\mu)}} \quad (2.4)$$

Із підвищенням напруженості зовнішнього МП збільшується різниця енергії для спіну, що має напрямок протилежний МП та спіну, напрямленому в напрямку МП, що призводить до підвищення поляризації. Однак спіни вишиковуються не від-

разу. До накладання МП деякі з них розташовуються хаотично, в МП спіни направленні згідно з напрямком магнітних силових ліній і розташовуються перпендикулярно до поверхні.

Зміна орієнтації ядерного спіну супроводжується зміною його енергії, саме тому це можливо лише за наявності об'єкта (сусідніх ядер, електронів, парамагнітних елементів, вільних радикалів, іонів, що мають таку саму частоту, що й процесії ядер у зовнішньому МП), з яким ядро обмінюється енергією.

В об'ємі речовини наявний напрямений вздовж зовнішнього поля сумарний магнітний момент ядер M (намагніченість):

$$M = \mu [n_{(+\mu)} - n_{(-\mu)}]. \quad (2.5)$$

Використовуючи вираз (2.4), отримуємо:

$$P = \frac{n_{(+\mu)} - n_{(-\mu)}}{n_{(+\mu)} + n_{(-\mu)}} = \frac{e^{\frac{2\mu H}{kT}} - 1}{1 + e^{\frac{2\mu H}{kT}}} \quad (2.6)$$

оскільки

$$\frac{2\mu H}{kT} < 1, \text{ тому } e^{\frac{2\mu H}{kT}} \approx 1 + \frac{2\mu H}{kT}. \quad (2.7)$$

Таким чином, для загальної кількості ядер в одиниці об'єму речовини n_0 магнітний момент:

$$M = \frac{\mu^2 H_0 n_0}{kT}. \quad (2.8)$$

Звідси швидкість намагнічення ядер M у МП H_0 :

$$\frac{dM}{dT} = x_0 H_0 - \frac{M}{T_1}, \quad (2.9)$$

де x_0 – статистична магнітна сприйнятливність ядер;

T_1 – час вертикальної релаксації.

Таким чином, різке зниження напруженості МП до величини H_0 призводить до зміни намагніченості зі швидкістю, що визначається за формулою (2.9). При пришвидшеній релаксації ядер за наявності парамагнітних часток та вільних радикалів енергія, яку поглинає ядро при переорієнтації в зовнішньому МП, поглинається неспареними електронами, що розташовуються неподалік.

Зміна кольору оливи при проходженні світла крізь неї під дією МП у бік збільшення частоти (за кольором від оранжевого до зеленого) вказує на те, що частота збільшується від 510 до 600 ТГц, а отже, підвищується й енергія фотона, який проходить крізь оливу, тим самим підвищуючи його активацію.

За наявності МП квантова частка, що має спіновий магнітний момент, набуває додаткової енергії $\Delta E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$, пропорційної його магнітному моменту $\vec{\mu}$ (ефект Зеемана) [70].

Електричний потік, що змінюється, утворює струм зміщення, а змінний магнітний потік створює електрорушійну силу. Знаючи частоту зміни електричного потоку індукції (частоту електромагнітного кванта), можна знайти струм електричного зміщення:

$$I_{\text{зм}} = 2 \cdot e \cdot \nu,$$

де e – квант електричного потоку,

ν – частота.

Таким чином, в електромагнітних хвилях наявні дискретні струми зміщення та енергія електричних і магнітних потоків [70].

Дослідження зміни енергетичного заряду оливи в МП проводились на спеціально спроектованій установці. Фізичний зміст експерименту показано на рис.2.11.

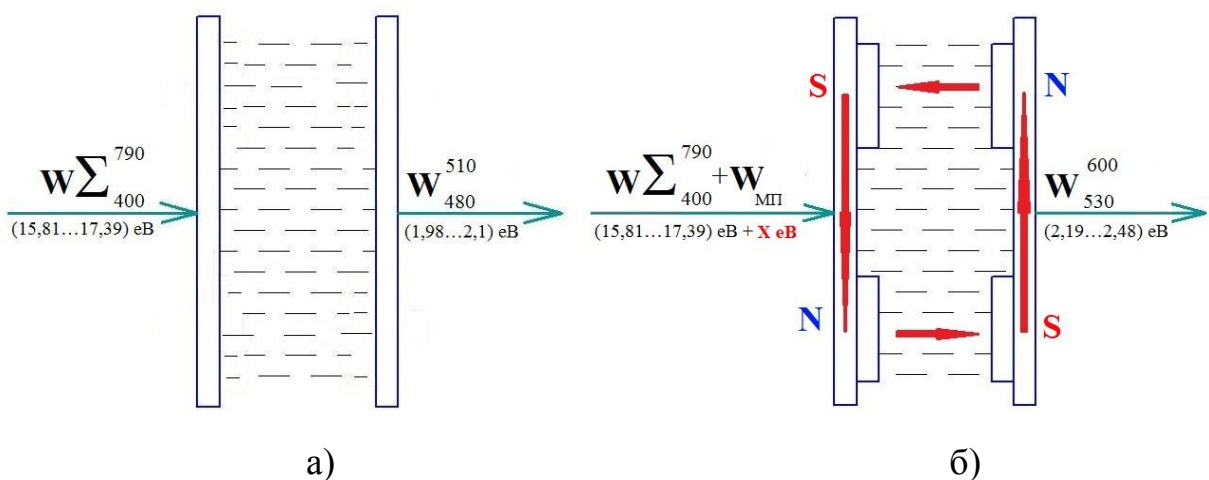


Рисунок 2.11. – Фізичний зміст дослідження зміни енергетичного заряду оливи М10Г2к пропусканням крізь неї променя білого світла: а) за звичайних умов; б) під дією МП

Під час проведення експерименту крізь шар досліджуваної оливи проходить промінь білого світла, що характеризується діапазоном частот 400...790 ТГц та енергією фотона – 15,81...17,39 еВ. У випадку проходження променя світла крізь оливу без дії МП (рис.2.11,а) після просвічування отримуємо оранжевий колір, енергія якого становить 1,98...2,1 еВ, а діапазон частот – 480...510 ТГц плюс енергія втрат:

$$W \int_{400}^{790} = W \int_{480}^{510} + W_{\text{втр}}. \quad (2.10)$$

Під час дослідження впливу МП на енергетичний заряд оливи М10Г2к пропусканням променя білого світла крізь неї (рис.2.11,б), окрім енергії білого світла, як і у попередньому випадку, на оливу діє ще й енергія МП ($W_{\text{МП}}$), а після просвічування отримуємо зелений колір, що має величину енергії 2,19...2,48 еВ та діапазон частот – 530...600 ТГц плюс енергія втрат. Це буде мати такий аналітичний вигляд:

$$W \int_{400}^{790} + W_{\text{МП}} = W \int_{530}^{600} + W'_{\text{втр}}. \quad (2.11)$$

Отже, зміна кольору оливи у МП характеризує її енергетичний заряд [72]. Таким чином, для того, щоб визначити величину енергії МП, що діє на оливу шляхом перетворень двох попередніх формул (2.10) та (2.11) отримуємо наступне:

$$W_{\text{МП}} + W \int_{480}^{510} + W_{\text{втр}} = W \int_{530}^{600} + W''_{\text{втр}}. \quad (2.12)$$

Звідки: $W_{\text{МП}} = W \int_{530}^{600} - \int_{480}^{510} = (2,19...2,48) - (1,98...2,1) = (0,21...0,38)$ еВ.

Отже, у разі дії МП магнітною індукцією 0,3 Тл на оливу М10Г2к величина енергії, з якою МП діє на оливу становить 0,21...0,38 еВ.

Таким чином, відсотковий внесок енергії МП у оливу становить 11,0...11,8 % [73].

Результати досліджень зміни кольору, що характеризують енергетичний заряд моторної мінеральної оливи М10Г2к у МП показано на рис.2.12.

Відповідно до результатів досліджень, представлених на рис.2.12 точка №0 представляє оливу, на яку не діє МП, її енергія становить 1,98 еВ, а лінія переходу між напрямками МП досить розмита, що підтверджується наявністю ряду фото

(рис.2.12 *N/S*, *S/N* №1, №2) це пояснюється тим, що у мінеральних оливах молекули значно відрізняються за розміром між собою. Олива в точці №4 *N/S*, *S/N* напрямків МП після пропускання крізь неї променя білого світла характеризується насиченим зеленим кольором, енергія якого становить 2,48 еВ [72].

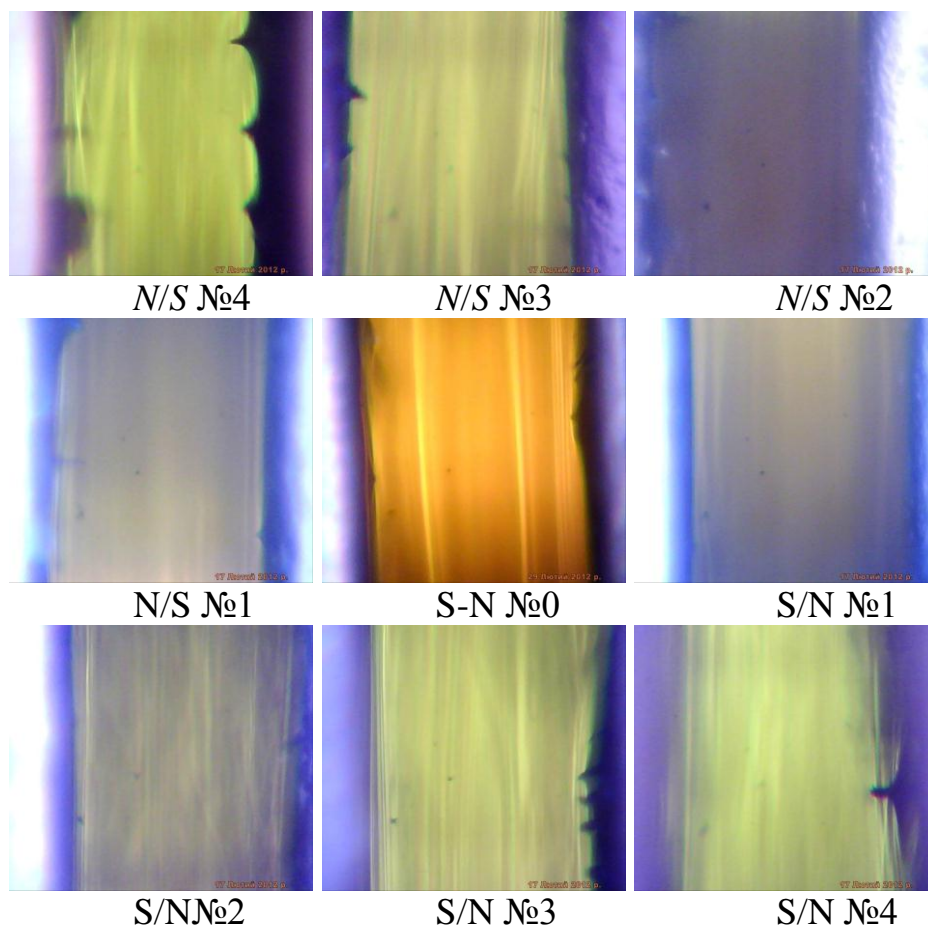


Рисунок 2.12. – Дослідження зміни енергетичного заряду в мінеральній оливі М10Г2к, що перебуває під дією МП постійного магніту напруженістю $B = 0,3$ Тл, шляхом пропускання променя білого світла крізь неї ($\times 50$)

Використання синтетичної оливи 5W40 має інший склад та ідентичну величину молекул, що відбивається на світловій діаграмі (рис.2.13).

У МП різкий перехід на межі дії МП у синтетичній оливі (рис.2.13, *S/N* і *N/S* №3) хумовлюється підвищеною кількістю (на 25 %) модифікованих присадок, що провокує їх зміщення залежно від напрямку МП.

Величина молекул синтетичних олив є стабільною, що характеризує їх більш

рівномірне сприйняття МП (рис.2.13), ніж мінеральної оливи М10Г2к (рис.2.12), на що вказує короткий перехід між зонами зміни кольору, тобто енергетичного стану оливи [74].

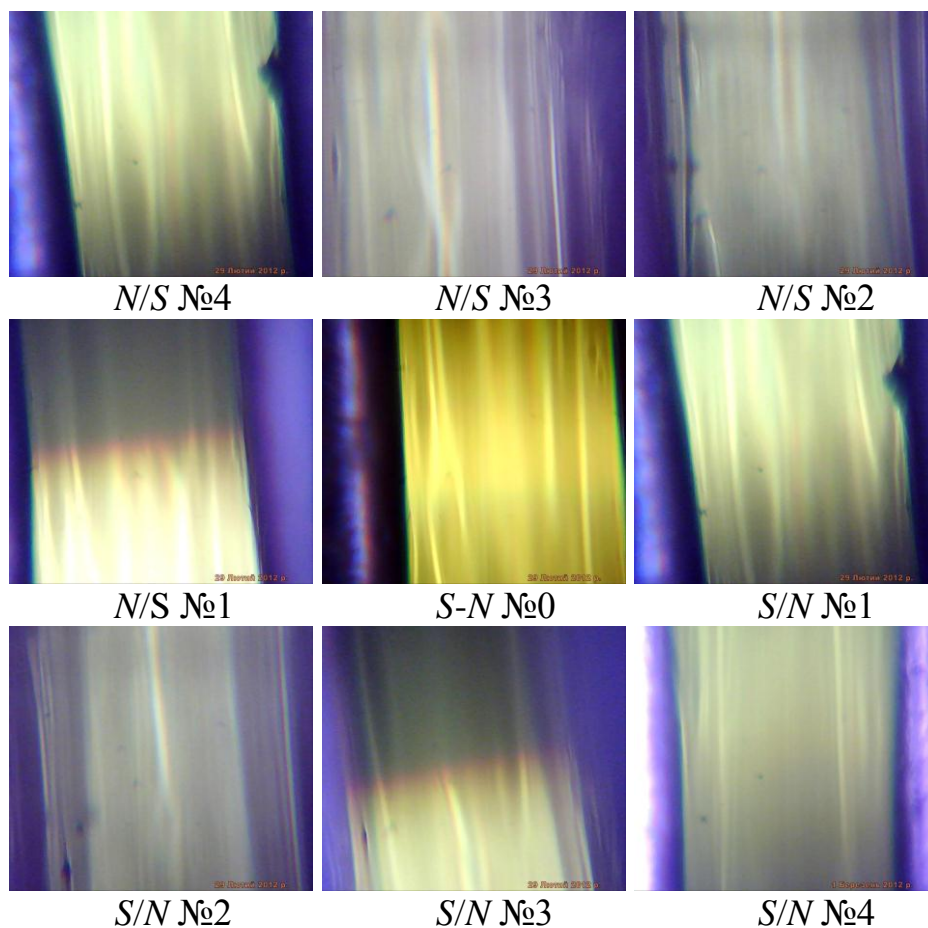


Рисунок 2.13. – Дослідження зміни енергетичного заряду синтетичної оливи 5W40 дією МП напруженістю $B = 0,3$ Тл ($\times 50$)

Для перевірки достовірності отриманих результатів щодо зміни енергетичного заряду моторних олив М10Г2к та 5W40 під дією МП було використано очищену індустріальну оливу І-20А (рис.2.14).

Таким чином, після проведення досліджень був виявлений різкий перехід в напрямку МП (рис.2.14 *NS*, *SN* №2). В оливі М10Г2к ця зона набагато ширша, що пояснюється наявністю у складі оливи магнітних модифікаторів.

Отже, під дією МП, магнітна індукція якого 0,3 Тл, величина енергетичного заряду, з яким МП діє на оливу, становить 0,21...0,38 еВ. Таким чином, у ході дослі-

джен з'ясовано, що відсотковий внесок енергії МП у оливу складає 11,0...11,8 %.

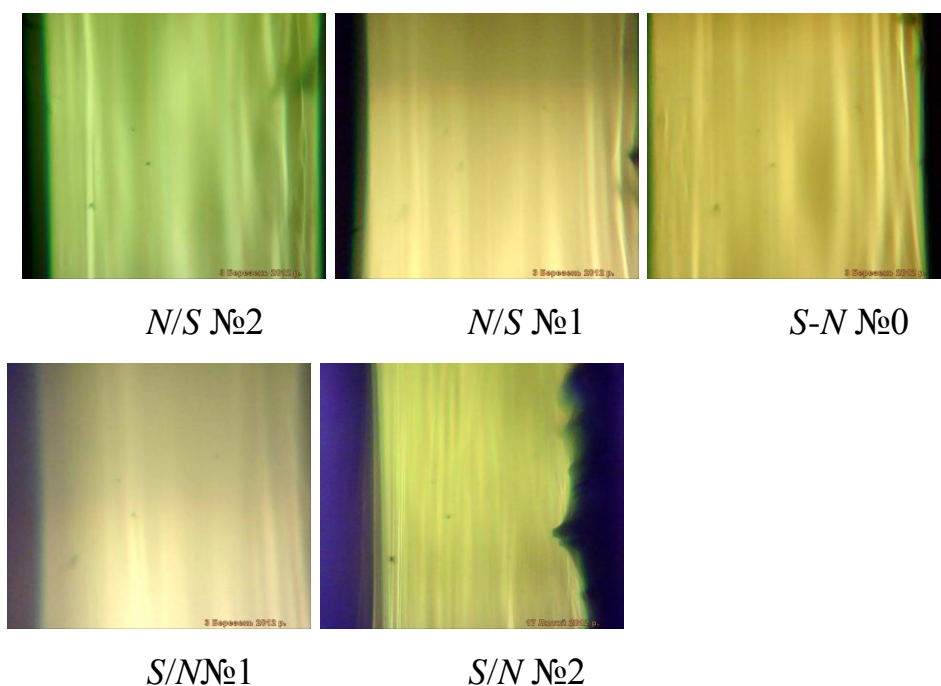


Рисунок 2.14. – Результати досліджень зміни енергетичного заряду оливи I-20A дією МП напруженістю $B = 0,3$ Тл ($\times 50$)

У ході досліджень з'ясовано, що температура оливи М10Г2к у МП змінюється залежно від розміщення полюсів (рис.2.15) і максимальне значення за N/S напрямку МП становить $24,76$ °С. Такій температурі відповідає позиція N/S №4 (рис.2.12). У свою чергу енергія оливи за таких умов також найвища, оскільки МП підвищує її рівень на $0,38$ еВ, а отже, олива після просвічування має насичений зелений колір і енергію $2,48$ еВ. Найнижча температура оливи в МП при $S - N$ становить $23,59$ °С. Така олива має оранжевий колір (рис.2.12, $S - N$ №0) після просвічування та найнижчу енергію $1,98$ еВ. При S/N напрямку МП олива набуває температуру вищу ніж при $S - N$ напрямку, але нижчу ніж при N/S , а саме $24,13$ °С відповідно, величина енергії оливи становить $2,19$ еВ, оскільки за такого розміщення полюсів МП підвищує її на $0,21$ еВ. Олива після просвічування має зелений колір (рис.2.12, S/N №4), але не такий насичений, як у разі N/S напрямку (рис.2.12, N/S №4).

Таким чином, після проведених досліджень з'ясовано, що із підвищенням рівня індукції МП підвищується і енергетичний заряд оливи, оскільки олива отримує ще

й енергію МП, що становить 0,21...0,38 еВ.

У праці[56] з'ясовано, що чим більша енергія оливи, тим інтенсивніша її активація із робочою поверхнею. При цьому виявлено, що величина кінетики розтікання оливи на поверхні є одним із показників її протизносних властивостей.

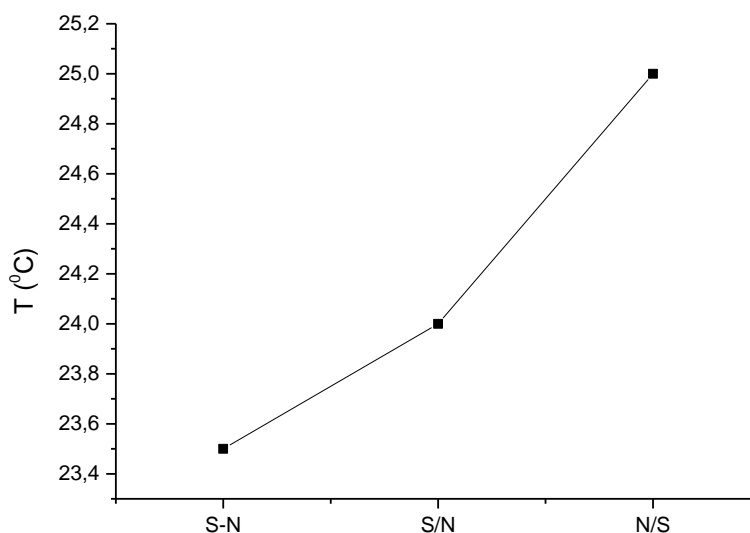


Рисунок 2.15. – Зміна температури оливи М10Г2к у МП

Під час визначення впливу МП на кінетику розтікання невідпрацьованої оливи М10Г2к установлено, що найвищий рівень її розтікання на поверхні спостерігається на полюсі N і становить 8 мм²/хв, на полюсі S – 7 мм²/хв, а без впливу МП – 4,2 мм²/хв (рис.2.16).

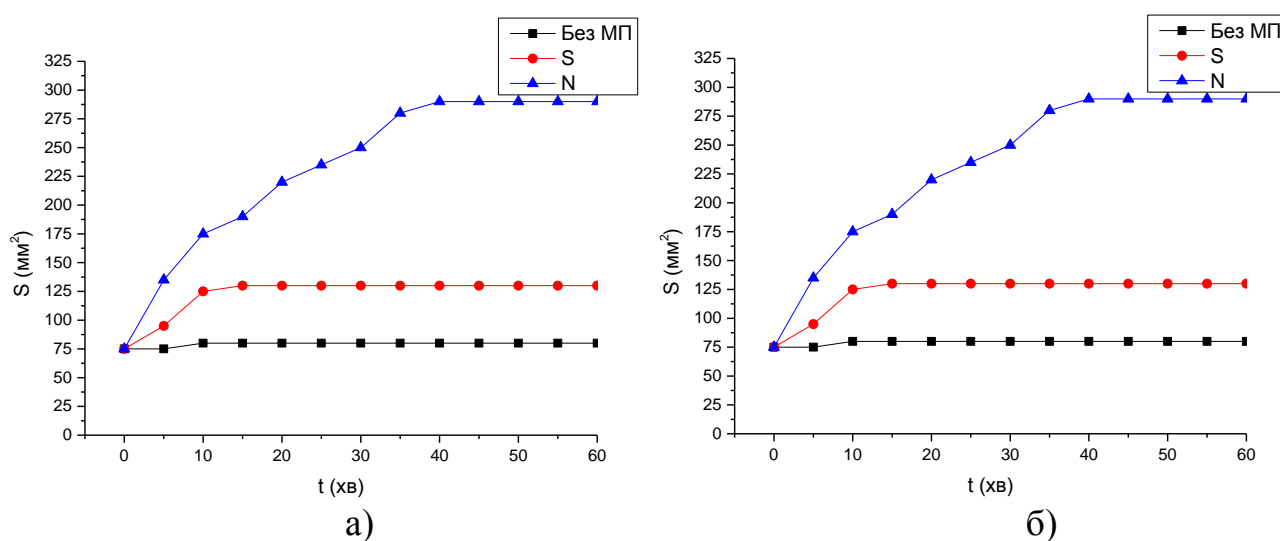


Рисунок 2.16. – Кінетика розтікання: а) невідпрацьованої; б) відпрацьованої оливи М10Г2к у МП на сталі 30ХГСА під дією МП

Результати досліджень кінетики розтікання відпрацьованої М10Г2к (рис.2.16,б) показали, що інтенсивність розтікання оливи під дією МП до $9,5 \text{ мм}^2/\text{хв}$ на N полюсі, $8 \text{ мм}^2/\text{хв}$ на полюсі S тоді як без МП $6 \text{ мм}^2/\text{хв}$ В інтервалі між зазначеним часом та загальним часом досліджень рівень розтікання оливи у всіх випадках не змінюється.

Таким чином, під дією МП на оливу кінетика її розтікання підвищується, як у випадку невідпрацьованої оливи (рис.2.16,а), так і відпрацьованої (рис.2.16,б). Проте відомо, що в'язкість ММ відіграє важливу роль для зниження механічного зношування, а відповідно і підвищення рівня надійності прецизійних пар в процесі експлуатації [56].

Крайовий кут змочування робочої поверхні є ще одним з важливих експлуатаційних показників. Дослідження цього параметра під дією МП на оливу проведено згідно з ДСТУ 7934.2-74 (рис.2.17).

Отримані результати впливу МП на оливу свідчать про те, що спостерігається оптимізація крайового кута змочування, як у випадку невідпрацьованої оливи М10Г2к: 13° на полюсі S та 6° – N , тоді як без МП – 18° (рис.2.17,а), так і у відпрацьованої: -9° на полюсі S , $2,5^\circ$ на полюсі N та 13° без МП (рис.2.17,б).

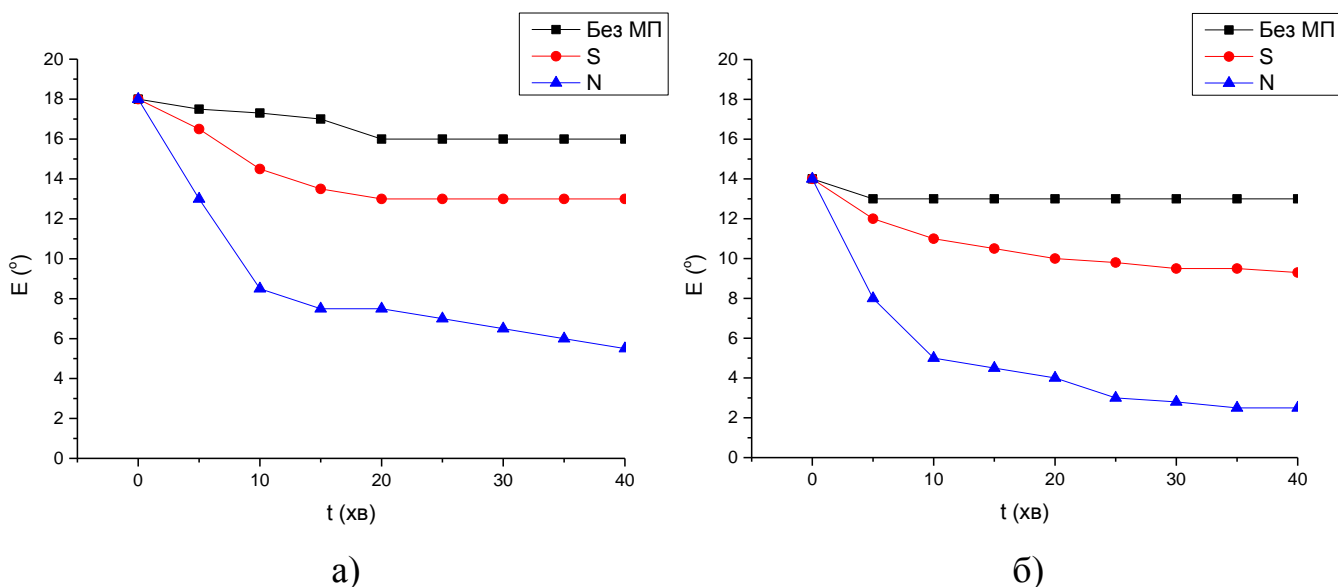


Рисунок 2.17. – Крайовий кут змочування: а) невідпрацьованої; б) відпрацьованої оливи М10Г2к на сталі 30ХГСА під дією МП

Для визначення рівня зношування залежно від величини енергетичного заряду

оливи проведено дослідження сталі ШХ15 по сталі 30ХГСА в робочих середовищах М10Г2к і 5W-40 за навантаження 1,0 МПа та швидкості 0,1 м/с (рис.2.18).

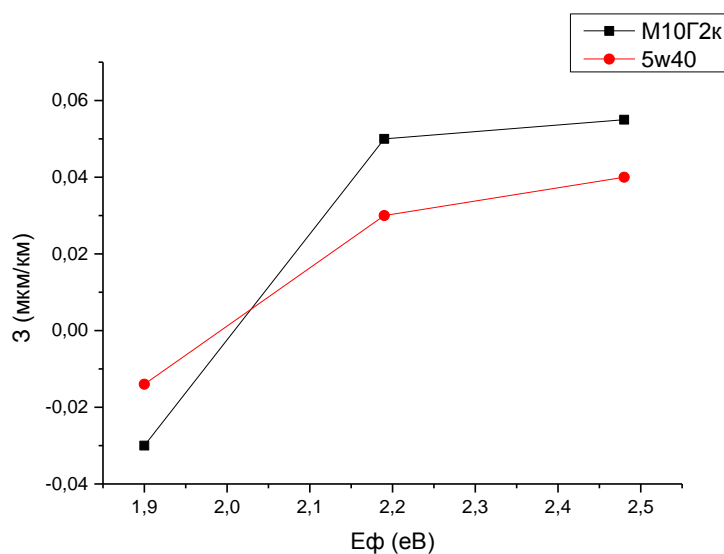


Рисунок 2.18. – Графік залежності інтенсивності зношування від величини енергетичного заряду оливи

Ці дослідження показали, що з підвищенням енергетичного заряду оливи інтенсивність зношування знижується.

Таким чином, можна стверджувати, що комплекс набутих параметрів оливи в МП (енергетичний заряд оливи, кінетика її розтікання, крайовий кут змочування) змінює рівень зношування шляхом покращення експлуатаційних характеристик, зокрема протизносних властивостей оливи та зниження інтенсивності зношування, що дає змогу керувати ресурсом вузлів та механізмів у процесі експлуатації, у яких існують прецизійна пари, зокрема ЕУ АНТ.

Висновки до розділу II

Подано модель взаємодії енергетичних процесів в умовах зниження інтенсивності зношування робочої поверхні механізму в процесі експлуатації впливом МП на ММ.

Виготовлено обладнання для визначення закон, що дозволяє фіксувати зміни на робочій поверхні зразка в середовищі, обробленому МП, та відповідно аналізувати параметри матеріалів з урахуванням впливу навколишнього середовища.

Показано новий метод дослідження експлуатаційних параметрів пари тертя в динаміці під дією напрямленого постійного МП на робоче середовище, що дозволяє фіксувати поверхневі зміни та визначати часовий параметр зміни стану робочих поверхонь, використовуючи їх частотні характеристики.

Результати аналізу математичного моделювання експерименту дали можливість з'ясувати, що найбільш значущим фактором зниження інтенсивності зношування поверхонь за умов роботи в робочому середовищі, обробленому МП, є величина магнітної індукції постійного МП.

Досліджено зміни енергетичного заряду олив M10Г2к, 5W40, I-20A, що перебувають під дією МП (0,3 Тл), шляхом пропускання крізь них променя білого світла. Визначено, що енергія олив з 1,98 еВ (за звичайних умов має оранжевий колір) під дією МП 0,3 Тл підвищується до 2,48 еВ (зелений колір), таким чином енергетичний внесок МП в оливи становить (0,21...0,38) еВ або 11,0...11,8 %.

У ході досліджень з'ясовано, що з підвищенням енергії оливи підвищується її температура на 5 % з 23,59 °С, за енергії 1,98 еВ до 24,76 °С, величина енергії – 2,48 еВ.

Установлено, що найінтенсивніший рівень розтікання оливи на поверхні сталі 30ХГСА та найефективніший крайовий кут змочування (рівень шорсткості $R_a=1...3$ мкм за температури навколишнього середовища 22 °С) на полюсі N становить 8 мм²/хв та 6° у невідпрацьованій M10Г2к і 9,5 мм²/хв та 2,5° у відпрацьованій M10Г2к.

З'ясовано, що з підвищенням енергетичного заряду оливи рівень зношування знижується, що дозволяє керувати ресурсом механізму та його технічним станом.

РОЗДІЛ III

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження впливу магнітного поля на експлуатаційні характеристики оливи

Відомо, що ресурс механізму залежить від інтенсивності зношування деталей, яка, в свою чергу, залежить від змащувальних властивостей оливи [56], а отже, чим вони вищі тим нижчий рівень зношування поверхонь деталей у процесі експлуатації.

Змащувальна здатність середовища – це здатністю запобігати зношуванню поверхонь тертя за умов утворення стійкої граничної плівки [75].

Міцність плівки залежить від наявності в ній активних молекул, їх кількості та якості [76].

Як робоче середовище для досліджень використовувалися моторні оливи М10Г2к (мінеральна) та 5W40 (синтетична) і така схема тертя: площа-палець, робочий зразок – сталь 45, модельне контр тіло – скло (прозорий матеріал). Швидкість становила 0,1...1,0 м/с, нормальне навантаження – 0,5...1,5 МПа. Конструктивно проходження магнітних ліній крізь об'єм робочого середовища спрямовували таким чином, щоб вони перетинали робочу речовину безпосередньо перед потраплянням її в робочу зону (рис.2.10,а,б).

У процесі напрацювання робоча поверхня вкривається плівками, щільність яких залежить від напрямку дії МП на робочу рідину. Відомо, що полюс магніту S має знак «+», а полюс N – «-» [77, 78], отже, якщо магніти розміщені перпендикулярно до робочого середовища, тоді за напрямків МП $S - N$ і $N - S$ диполі оливи розміщені перпендикулярно до робочих поверхонь тертя, однак рівень зношування буде різним [75]. Це пояснюється тим, що за напрямку МП $N - S$ (рис.2.10,б) у діапазоні дії силових ліній на робоче середовище оливи М10Г2к і 5W40 модифікатори набувають напрямку магнітних ліній із середовища до контртіла, тобто силою МП притискаються до поверхні контртіла, а потім під час тертя значна їх частина потрапляє на зразок, таким чином беручи активну участь у зниженні інтенсивності зношування. Відповідно поверхня характеризується наявністю захисних плівок

(60...65 % в оливі М10Гк (рис.3.1,в), 25...30 % у 5W40 (рис.3.1,е) і інтенсивністю зношування $-0,005$ мкм/км у М10Г2к та $-0,0065$ мкм/км у 5W40 (рис.3.2)).

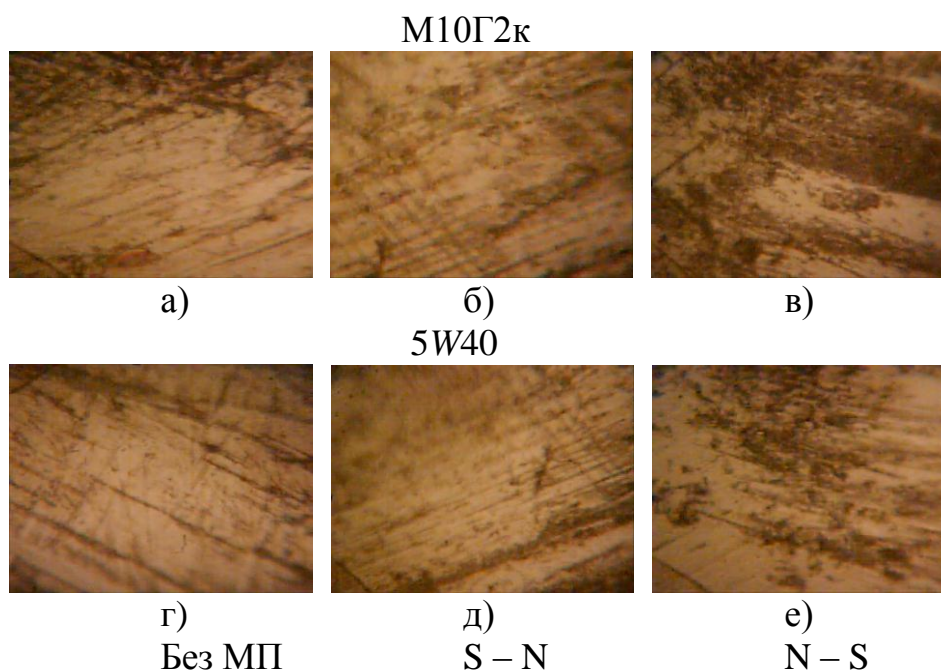
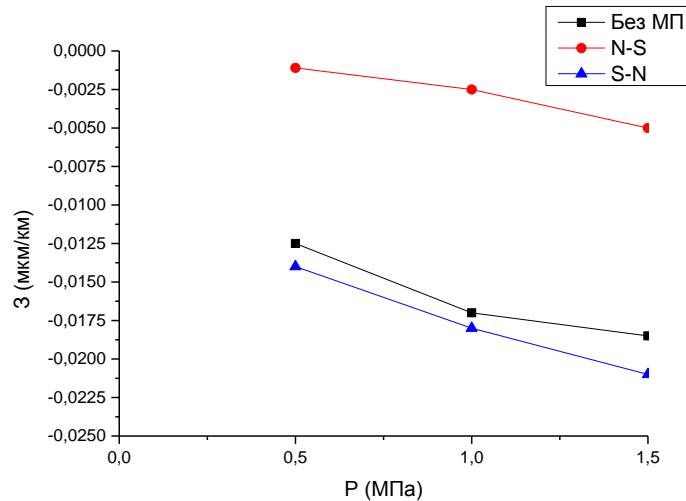


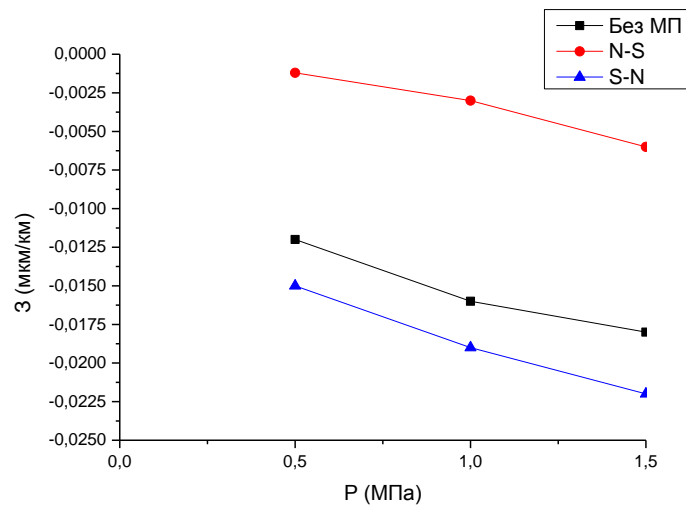
Рисунок 3.1. – Топографія поверхонь сталі 45 по скляному контртілу в робочих середовищах М10Г2к і 5W40, оброблених МП з різними напрямками магнітних ліній ($\times 400$)

У випадку, коли МП має $S - N$ напрямок, магнітні лінії напрямлені навпаки – від контртіла до середовища, тобто модифікатори оливи виносяться в об'єм робочого середовища, а отже, майже не потрапляють на робочу поверхню (рис.3.1,б). Площа захисних плівок становить 8...10 % для М10Г2к та 2...4 % для 5W40 (рис.3.1,д), рівень зношування відповідно складає $-0,02...-0,04$ мкм/км у М10Г2к та $-0,02...-0,01$ мкм/км у 5W40 (рис.3.2). Але якщо говорити про рівень зношування без дії МП в зазначених оливах, тоді в синтетичній оливі 5W40 зношування буде нижчим, ніж в мінеральній М10Г2к за рахунок поліпшених та вдосконалених експлуатаційних характеристик цієї синтетичної оливи [79]. В умовах тертя без дії МП продукти напрацювання розміщуються довільно в оливі і певна їх кількість переноситься на робочу поверхню, але рівень розтікання оливи по поверхні нижчий ($6 \text{ мм}^2/\text{хв}$), ніж у випадку дії на оливу дії на оливу МП ($9,5 \text{ мм}^2/\text{хв}$), тому рівень зно-

шування за $S - N$ напрямку МП та без МП майже не відрізняється (рис.3.2), що наочно видно з робочих поверхонь, показаних на рис.3.1,а,б (у М10Г2к) та рис.3.1,г,д (у 5W40).



а)



б)

Рисунок 3.2. – Залежність інтенсивності зношування сталі 45 по контртілу зі скла в оливах М10Г2к і 5W40 під дією МП на ММ від нормального навантаження

Таким чином, після проведених досліджень встановлено оптимальний вплив МП на робоче середовище, зокрема його напрям $N - S$, що знижує інтенсивність зношування поверхні тертя до 0,01 мкм/км.

Модельні випробування сталі 45 по ЛС59-1 у змащувальному середовищі, яке перебуває під впливом МП, характеризуються утворенням і утриманням захисних

плівок на поверхні тертя за $S - N - S - N$ напрямку МП протягом 30...40 хв (рис.3.3,е,є,ж) в оливах М10Г2к і 5W40, а без МП – 15...20 хв. (рис.3.3,а,б,в), після чого в обох зазначених випадках відбувається процес стирання захисних плівок (рис.3.3,г,д – без впливу МП, рис.3.3,з,и – за $S - N - S - N$ напрямку МП).

Таким чином, встановлено оптимальний вплив МП поля на робоче середовище, а саме його напрям ($S - N - S - N$), що сприяє покращенню експлуатаційних характеристик, зокрема зниженню інтенсивності зношування робочої поверхні.

3.2. Дослідження експлуатаційних параметрів сталей в оброблених магнітним полем змащувальних середовищах

Оскільки змащувальні матеріали, оброблені МП, мають антифрикційні та протизносні властивості [80], тому, змінюючи стан змащувального матеріалу використанням енергії МП [81], можна покращити експлуатаційні характеристики робочих поверхонь [82 – 87].

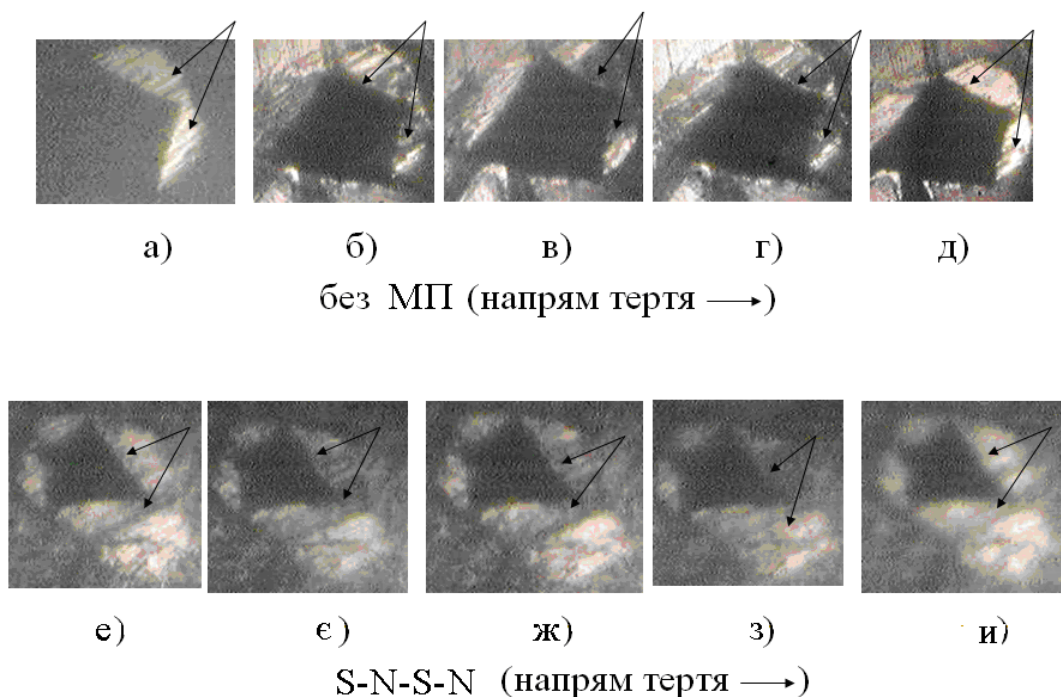


Рисунок 3.3. – Часовий фактор життєвого циклу захисних плівок в процесі напрацювання($\times 300$)

Для досліджень вибрано такі об'єкти:

– енергетичні – вплив МП постійного магніту на змащувальний матеріал з мо-

жливістю зміни потужності магнітної індукції та напрямку магнітних ліній;

– фізичні – зразок зі сталі 45, скляне контртіло, робоче середовище – моторна мінеральна М10Г2к та синтетична 5W40 оливи.

Під час експериментів магніти створювали постійне рівномірне МП, яке впливає на робоче середовище поза робочою зоною (рис.2.10,в,г,д).

Дослідження інтенсивності зношування проводили за схемою контакту площина-палець. Нормальне навантаження на зразок становило 0,5, 1,0 і 1,5 МПа, а швидкість – 0,1, 0,5 і 1 м/с. Для збирання статистичних даних зразком була сталь 2 як модельний матеріал, поверхневі зміни на робочій поверхні якого відбуваються значно інтенсивніше, ніж на загартованих сталях, а контртілом – скло (для проведення моніторингу змін на робочій поверхні).

Результати досліджень робочих поверхонь сталевих зразків по контртілу зі скла у змащувальних середовищах олів М10Г2к і 5W40, оброблених МП з різними напрямками магнітних ліній (рис.2.10,в,г,д) та різною магнітною індукцією (0,15 та 0,3 Тл) подані на рис.3.4.

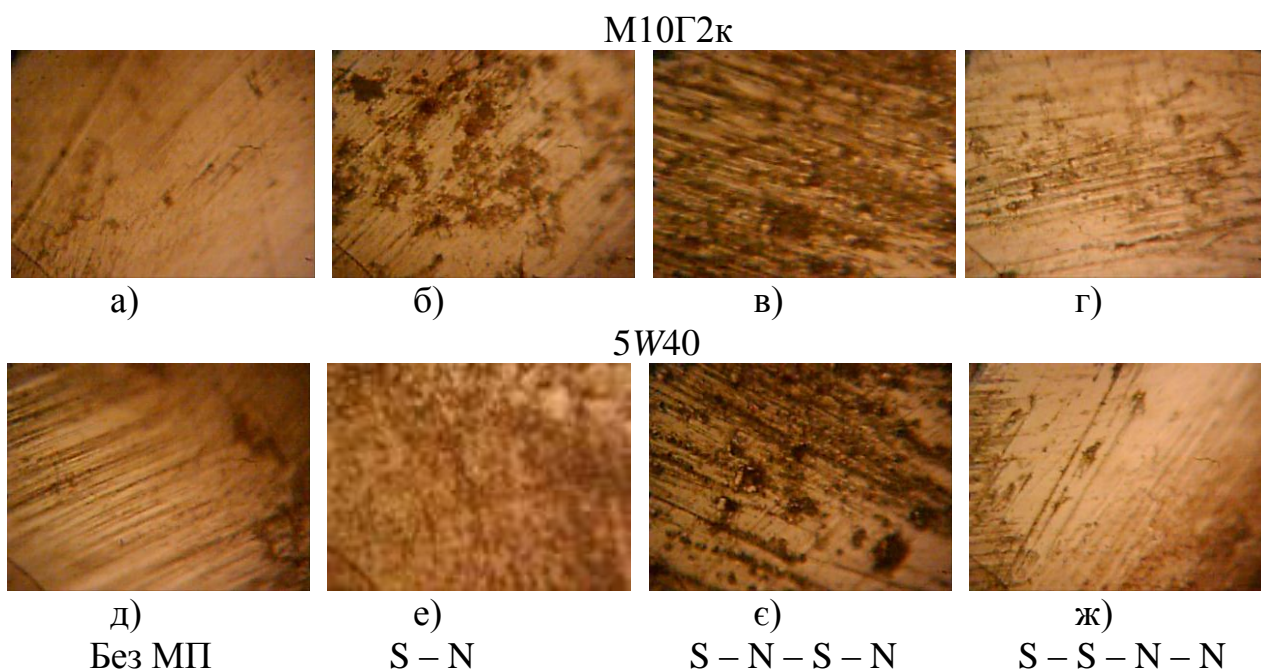


Рисунок 3.4. – Топографія робочих поверхонь сталі 2 по скляному контртілу в робочих середовищах М10Г2к і 5W40, оброблених МП, з різними напрямками магнітних ліній ($\times 400$)

На робочих поверхнях в оливах М10Г2к (рис.3.4,а) і 5W40 (рис.3.4,д) без впливу МП майже немає захисних плівок (займають до 1% площі тертя), відповідно інтенсивність зношування в цьому випадку висока – понад $-0,02$ мкм/км (рис.3.5).

На рис. 3.4, б, е показано робочі поверхні під дією МП з напрямком $S - N$, величина магнітної індукції – $0,15$ Тл. Топографія поверхні при цьому характеризується наявністю захисних плівок (до $4...6\%$ у М10Г2к і $3...5\%$ у 5W40), що зумовлюється тим, що під дією МП на оливу кінетика її розтікання підвищується, кут змочування оптимізується порівняно зі звичайними умовами, а це у свою чергу, поліпшує експлуатаційні характеристики робочої поверхні, а саме знижує рівень зношування за рахунок покращення змащувальних властивостей оливи. Крім того, МП сприяє інтенсивному створенню захисних плівок на поверхні тертя зразка, при цьому дещо знижується інтенсивність зношування до $-0,005$ мкм/км у М10Г2к і $-0,008$ мкм/км у 5W40 (рис.3.5).

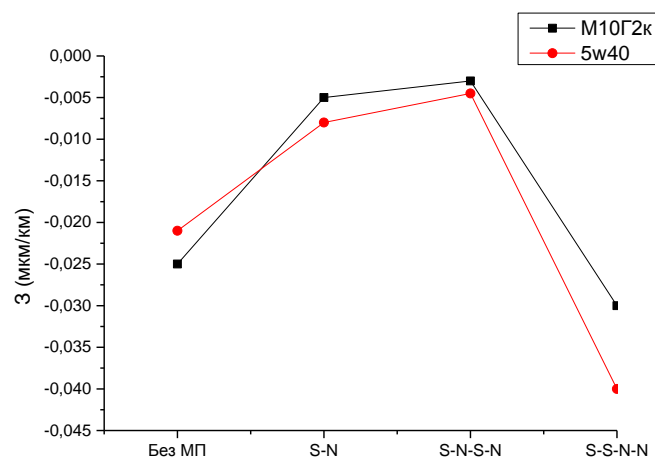


Рисунок 3.5. – Залежність інтенсивності зношування сталі 2 по склу у М10Г2к і 5W40, оброблених МП за різними схемами від нормального навантаження

Підвищенням величини магнітної індукції до $0,3$ Тл поверхні тертя на рис. 3.4, в, є з напрямком МП $S - N - S - N$ характеризуються значною кількістю продуктів, що беруть участь у створенні захисних плівок ($8...12\%$ площі поверхні в М10Г2к і $5...9\%$ у 5W40). Це свідчить про те, що парамагнітні та діамагнітні модифікатори змащувального матеріалу намагнічуються в зоні дії МП, і виштовхуючись осідають на робочу поверхню, що треться, інтенсивніше ніж за $0,15$ Тл. Намагнічені

модифікатори оливи в робочій зоні активно впроваджуються в поверхню, саме тому відбуваються процеси зниження інтенсивності зношування матеріалу, а саме: до $-0,003$ мкм/км у середовищі M10Г2к і до $-0,0045$ мкм/км у 5W40 (рис.3.5).

На рис. 3.4, г, ж показані робочі поверхні при напрямку магнітних ліній $S - S - N - N$. Ці поверхні характеризуються значним рівнем зношування, оскільки на них майже не спостерігаються захисні плівки, що пояснюється тим, що як парамагнітні, так і феромагнітні модифікатори, набуваючи напрямку МП, виносяться в об'єм робочого середовища й інтенсивність їх потрапляння в зону тертя низька. Таким чином, поверхня, не захищена плівками та значно зношується до $-0,03$ мкм/км у M10Г2к і до $-0,04$ мкм/км у 5W40 (рис.3.5).

Отже, виходячи з результатів, поданих на рис.3.5, постійне МП за впливу на змащувальне робоче середовище, значно підвищує експлуатаційні характеристики, а саме знижує інтенсивність зношування сталі 2 у напрямленому МП з напрямками $S - N$ та $S - N - S - N$ в основному за рахунок зміщення модифікаторів оливи до робочої зони, рівень кінетики її розтікання на поверхні тертя та оптимізацію кута змочування.

Залежність коефіцієнта тертя від величини магнітної індукції сталі 2 по скляному контртілу в робочому середовищі M10Г2к і 5W40 показано на рис. 3.6. З'ясовано, що з підвищенням магнітної індукції МП, за умов його впливу на ММ знижується коефіцієнт тертя.

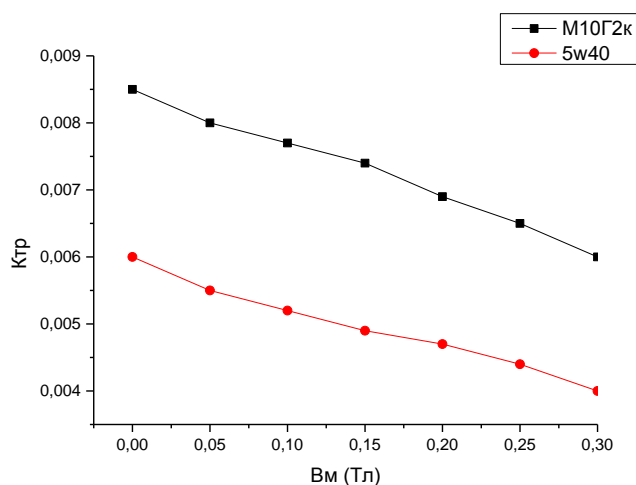


Рисунок 3.6. – Графік залежності коефіцієнта тертя від величини магнітної індукції сталі 2 по склу в M10Г2к і 5W40

Оскільки поршень АПН зазвичай виготовляють із загартованої на мартенситну структуру сталі, то актуальним буде провести модельне дослідження де робочий зразок виготовлений із зазначеного матеріалу.

Поверхні тертя зразків зі сталі 45 по скляному контртілу в обробленому МП змащувальному середовищі М10Г2к і 5W40 з різним напрямленнями магнітних ліній та величиною магнітної індукції показано на рис.3.7.

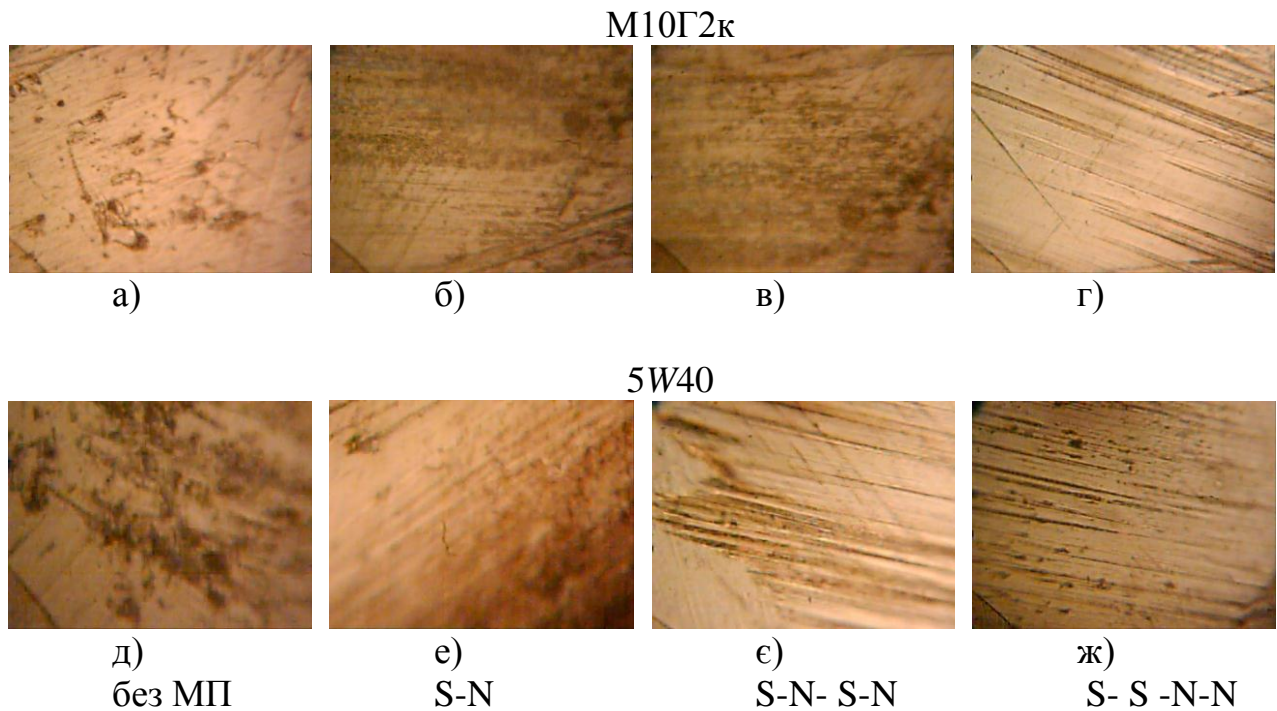
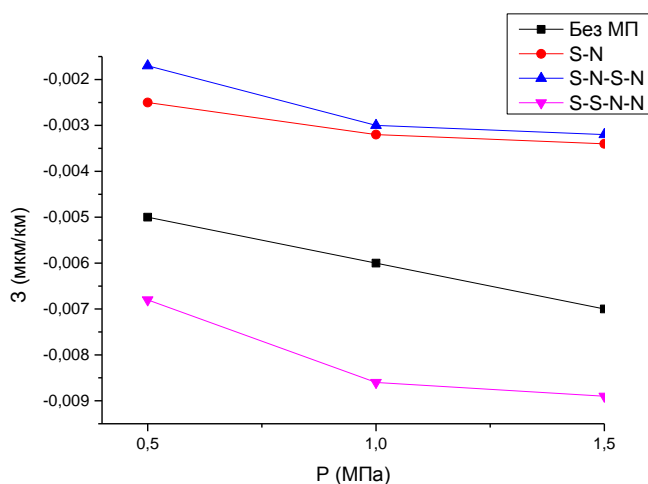


Рисунок 3.7. – Топографія поверхні сталі 45 по контр тілу із скла в робочому середовищі М10Г2к та 5W40, обробленому МП, з різними напрямками магнітних ліній та величини магнітної індукції ($\times 400$)

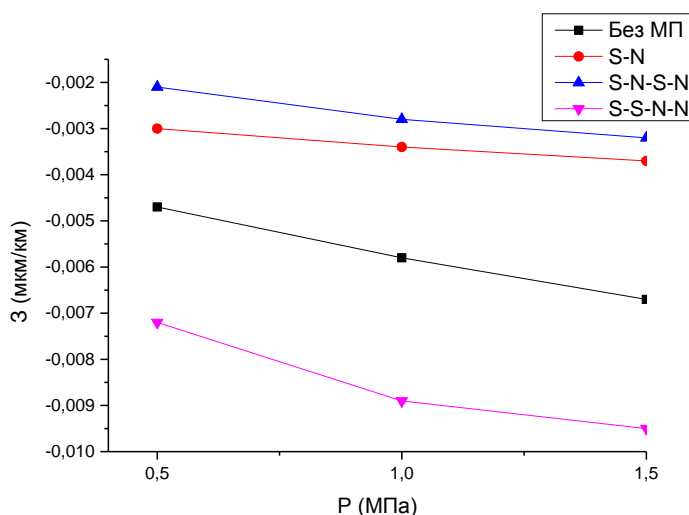
Виходячи із результатів досліджень поверхонь зразків, показаних на рис.3.7, та результатів отриманих даних відповідно до навантаження (рис.3.8), можна стверджувати, що інтенсивність зношування поверхонь тертя, як і в попередньому випадку зі сталлю 2, залежить від напрямку магнітних ліній, що діють на робоче середовище, та магнітної індукції, величина якої впливає на рівень кінетики розтікання оливи по робочій поверхні, кута змочування та спрямування її модифікаторів.

Найбільш інтенсивний механізм зниження інтенсивності зношування робочої поверхні сталі 45, як і сталі 2, спостерігається за $S - N - S - N$ розміщення магнітів

(рис.3.7,в,є), оскільки як визначено у другому розділі, саме під дією МП кінетика розтікання оливи підвищується до $9 \text{ мм}^2/\text{хв}$, а кут змочування становить $2,5^\circ$, що й пояснює інтенсивність зношування поверхні тертя до $-0,0025 \text{ мкм/км}$ у середовищі М10Г2к і до $-0,003 \text{ мкм/км}$ у 5W40 (рис.3.8). Аналізуючи отримані результати, потрібно зауважити, що такий параметр, як нормальне навантаження значно впливає на інтенсивність зношування, а саме зі збільшенням навантаження на робочу поверхню підвищується рівень зношування.



а) М10Г2к



б) 5w40

Рисунок 3.8. – Залежність інтенсивності зношування сталі 45 по скляному контртілу в М10Г2к і 5W40 під дією МП від нормального навантаження

У ході досліджень також встановлено, що коефіцієнт тертя сталі 45 по скляно-

му контртілу в робочому середовищі M10Г2к і 5W40 під дією МП знижується, а це сприяє зниженню рівня зношування та зниженню інтенсивності зношування поверхонь (рис.3.9).

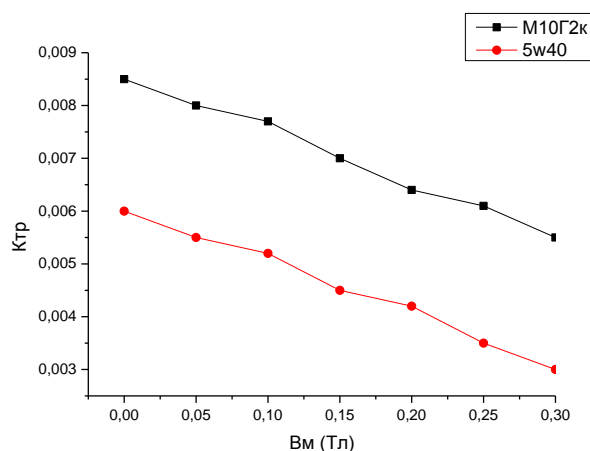


Рисунок 3.9. – Графік залежності коефіцієнта тертя від величини магнітної індукції сталі 45 по скляному контртілу в M10Г2к і 5W40

Для проведення моніторингу процесу тертя пари метал-метал доцільним є збирання статистичних даних про характер вібраційних характеристик при зміні трибологічного стану поверхні в умовах тертя сталі по склу з подальшим перенесенням результатів на пару метал-метал, оскільки, як зазначалося у праці [56], природа процесу зношування та кінетика його розвитку тісно пов'язані із станом змащувального шару, а робочий стан ММ та зовнішній вплив в обох випадках ідентичні. Вібраційні характеристики сталі 45 по контртілу зі скла в обробленому МП робочому середовищі M10Г2к з напрямленням МП $S - N - S - N$ показано на рис.3.10.

Реальна прецизійна пара у процесі експлуатації – це сталевий поршень (мартенситної структури) по латунному циліндру, тому доцільно є дослідити саме цю робочу пару щодо зниження інтенсивності зношування в робочому середовищі, обробленому МП. Отже, для проведення експерименту використано латунне контртіло із ЛС59-1 та сталь 45 як зразок і оливи M10Г2к та 5W40 як робочі середовища. Час проведення досліджень визначено за допомогою нагромадження даних під час попередніх досліджень змін на робочих поверхнях за рахунок того, що контртілом було скло, та заздалегідь визначено оптимальні параметри проведення експерименту.

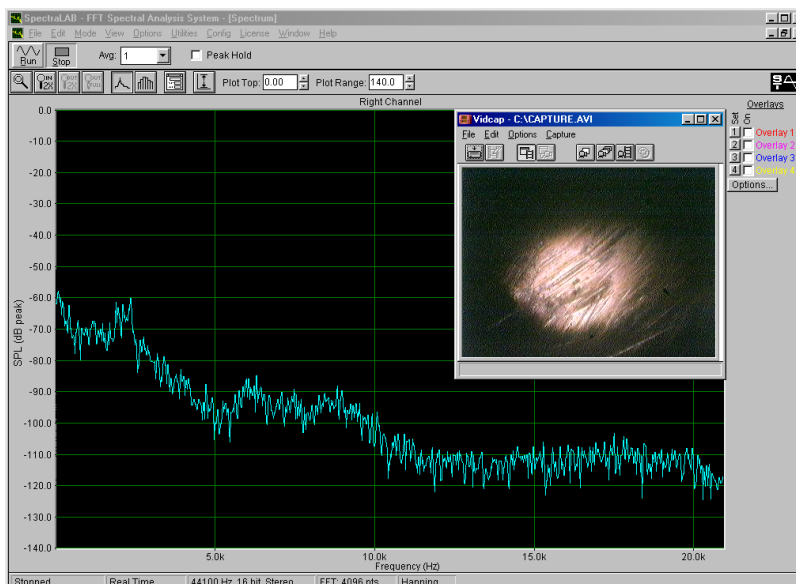


Рисунок 3.10. – Частотні характеристики сталі 45 по контргілу зі скла в обробленому МП робочому середовищі М10Г2к з напрямленням МП $S - N - S - N$

Робочі поверхні сталі 45 по ЛС59-1 в обробленому МП середовищі М10Г2к та 5W40 показано на рис.3.11.

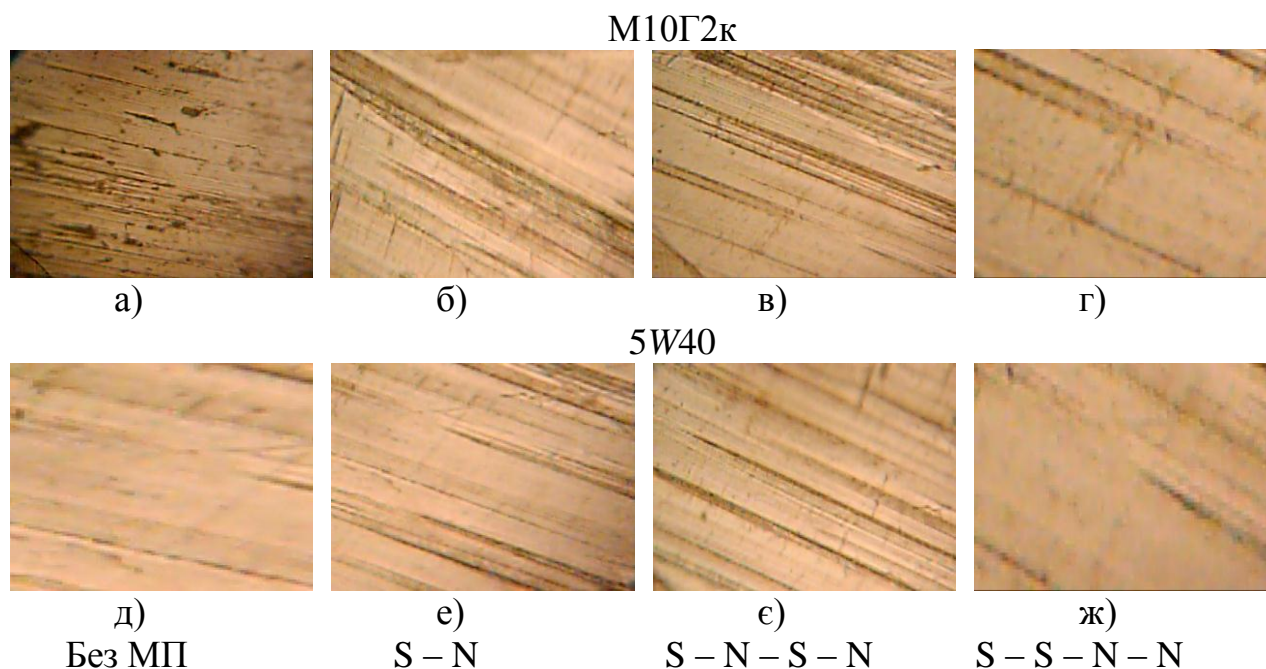
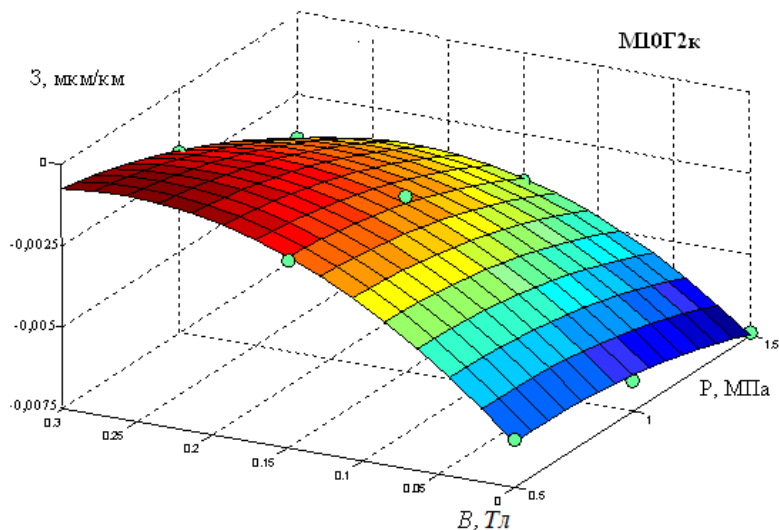
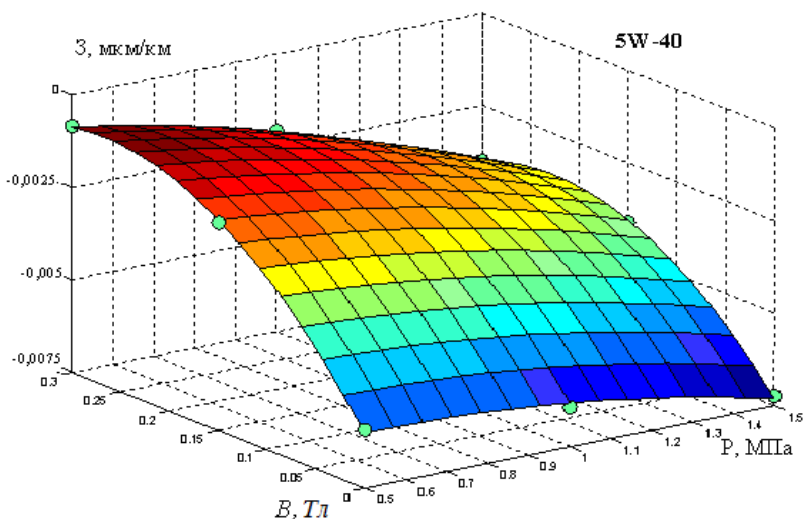


Рисунок 3.11. – Топографія поверхонь сталі 45 по контргілу ЛС59-1 в обробленому МП середовищі М10Г2к і 5W40 з різним напрямленням магнітних ліній та величиною магнітної індукції ($\times 400$)

Таким чином, механізм зниження інтенсивності зношування буде таким самим, що й у випадку із контртілом склом, тільки інтенсивнішим унаслідок того, що у процесі створення захисних плівок на поверхні, крім модифікаторів оливи, беруть участь ще й латунні складові контртіла. Результати інтенсивності зношування подано на рис.3.12.



а)



б)

Рисунок 3.12. – Залежність інтенсивності зношування сталі 45 по ЛС59-1 у робочому середовищі М10Г2к ($Y = -3,44 + 4,0X_1 + 90,44X_3 - 3,33X_1^2 - 161,15X_3^2 - 12,0X_1X_3$) та 5W40 ($Y = -2,79 + 2,88X_1 + 83,67X_3 - 2,73X_1^2 - 143,7X_3^2 - 12,33X_1X_3$), обробленому МП, від нормального навантаження

Отже, виходячи з результатів, поданих на рис.3.12, змащувальне робоче середовище значно знижує інтенсивність зношування сталі 45 у напрямленому МП (0,3 Тл) за рахунок зміщення модифікаторів оливи в робочу зону, підвищення рівня кінетики розтікання оливи по робочій поверхні та оптимізації кута змочування, що, у свою чергу знижує інтенсивність зношування до -0,0012 мкм/км у М10Г2к та до -0,0016 мкм/км у 5W40. З'ясовано, що коефіцієнт тертя сталі 45 по ЛС59-1 у робочому середовищі М10Г2к і 5W40 обробленому МП (рис.3.13), знижується з підвищенням магнітної індукції.

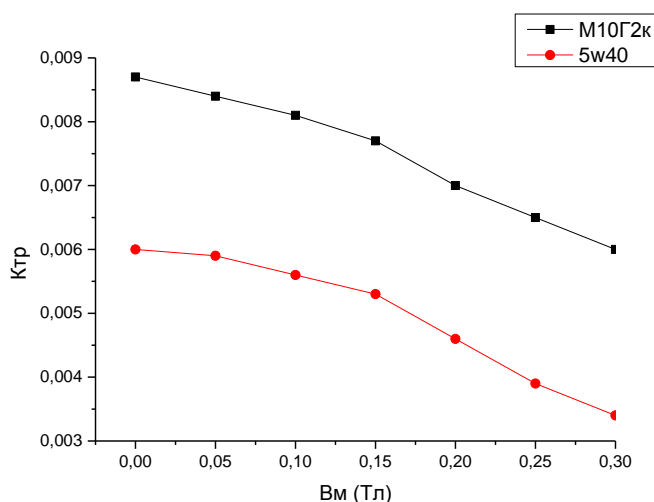
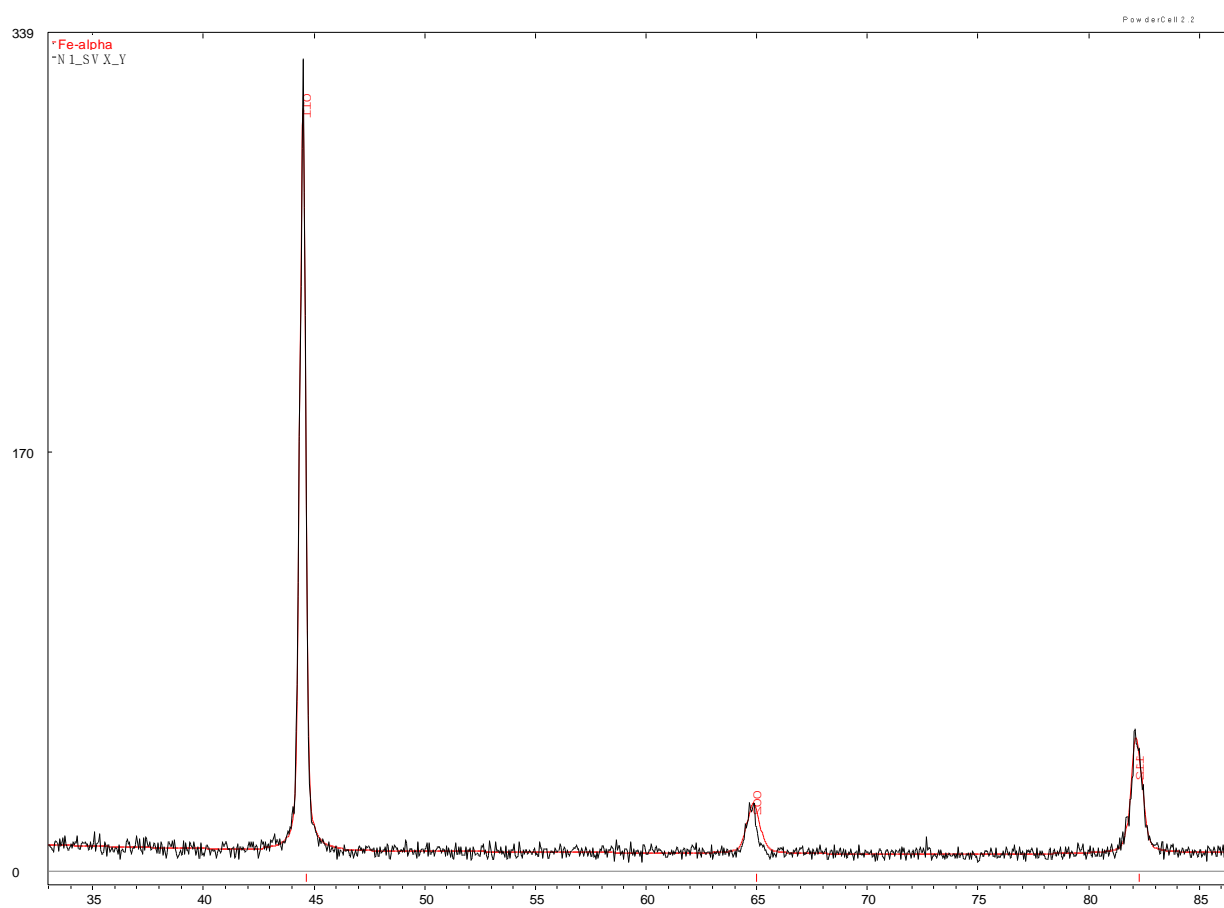


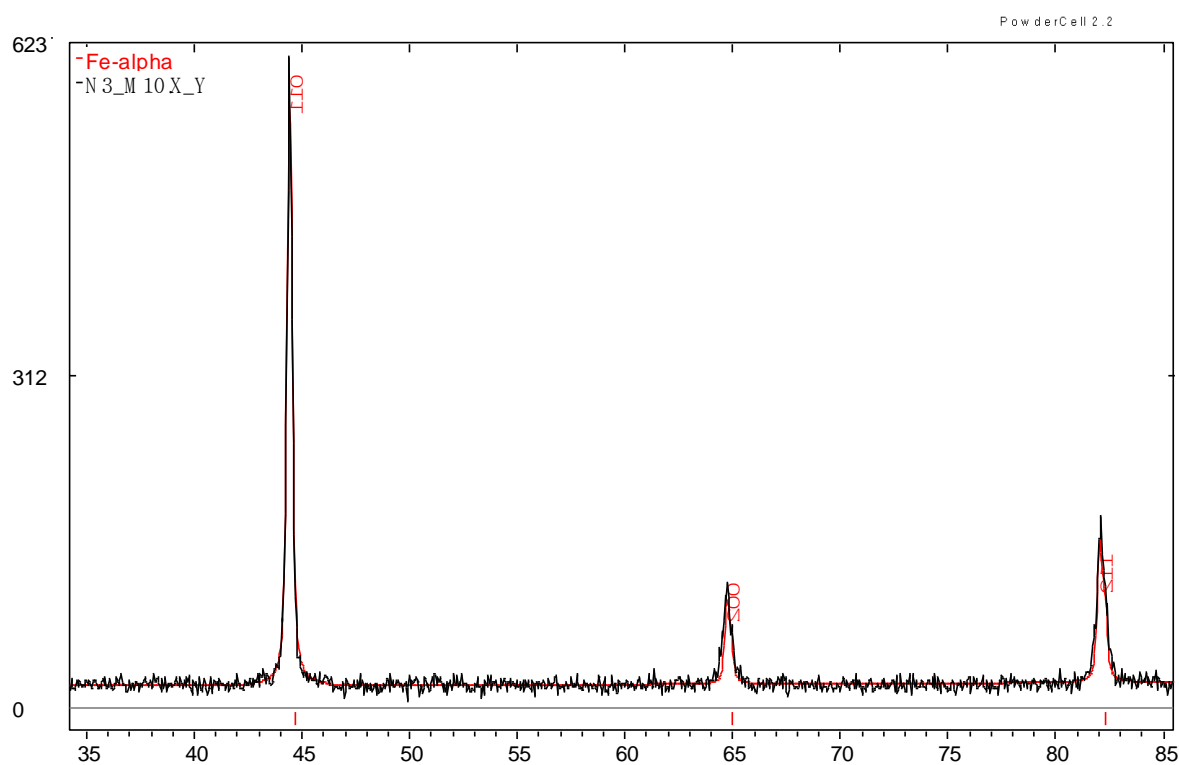
Рисунок 3.13. – Графік залежності коефіцієнта тертя від величини магнітної індукції сталі 45 по ЛС59-1 в робочому середовищі М10Г2к і 5W40

Рентгенографічний аналіз зразка зі сталі 45 показано на рис.3.14, з якого видно, що параметр решітки без МП $2,8682 \text{ \AA}$, а при дії МП $S - N - S - N$ напрямку становить $2,8669 \text{ \AA}$. Отже, решітка сталі 45 в умовах тертя у ММ, обробленому МП, стає щільнішою, унаслідок чого метал зміцнюється і рівень зношування знижується, поліпшуючи ТС прецизійних пар. (рис.3.12).

Оскільки матеріалом для виготовлення підшипників у досліджуваих енергетичних установках АНТ є сталь ШХ15 або її аналоги, то нами було проведено модельні дослідження щодо можливості зниження інтенсивності зношування зразків зі сталі ШХ15 у робочих середовищах М10Г2к і 5W40, оброблених МП. Контртіло виготовлено із сплаву ЛС59-1 та сталі 30ХГСА.



а)

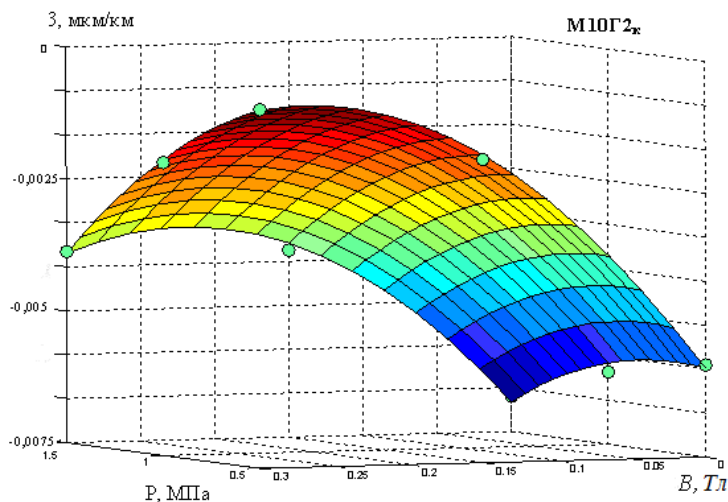


б)

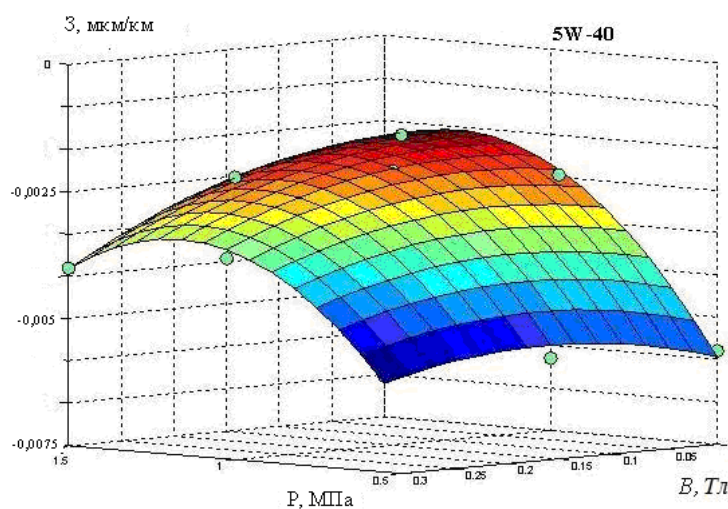
Рисунок 3.14. – Рентгенографічний аналіз сталі 45:

а) без МП – 2,8682А; б) S-N-S-N – 2,8669А

Залежність інтенсивності зношування зразків сталі ШХ15 по ЛС59-1 у середовищах М10Г2к і 5W40, оброблених МП, від нормального навантаження, показано на рис.3.15.



а)



б)

Рисунок 3.15. – Залежність інтенсивності зношування сталі ШХ15 по ЛС59-1 у робочому середовищі М10Г2к ($Y = -3,66 + 5,39X_1 + 100,52X_3 - 4,03X_1^2 - 170,96X_3^2 - 16,73X_1X_3$) та 5W40 ($Y = -4,16 + 6,95X_1 + 96,09X_3 - 4,76X_1^2 - 160,44X_3^2 - 16,87X_1X_3$), обробленому МП, від нормального навантаження

Виходячи з результатів, показаних на рис.3.15, інтенсивність зношування сталі ШХ15 у робочому середовищі, обробленому МП (0,3 Тл), підвищується, унаслідок

зміщення модифікаторів робочого середовища в робочу зону, покращуючи експлуатаційні характеристики оливи, а саме: підвищення рівня кінетики її розтікання до $9,5 \text{ мм}^2/\text{хв}$ по робочій поверхні та оптимізації кута змочування до $2,5^\circ$, що, в свою чергу, знижує інтенсивність зношування до $-0,0011 \text{ мкм/км}$ у M10Г2к та до $-0,0015 \text{ мкм/км}$ у 5W40 порівняно із результатами без впливу МП, зокрема $-0,0071 \text{ мкм/км}$ у M10Г2к та до $-0,007 \text{ мкм/км}$ у 5W40.

Після ряду досліджень впливу МП з використанням оливи M10Г2к і 5W40 отримано результати залежності коефіцієнта тертя від величини магнітної індукції (рис.3.16).

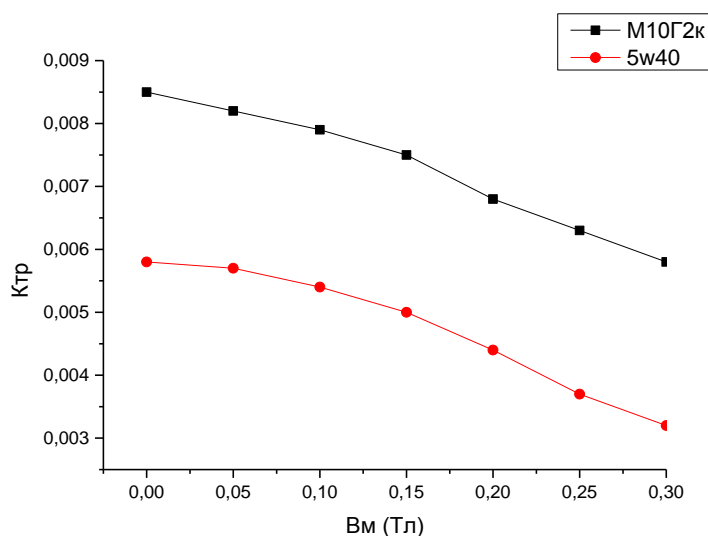
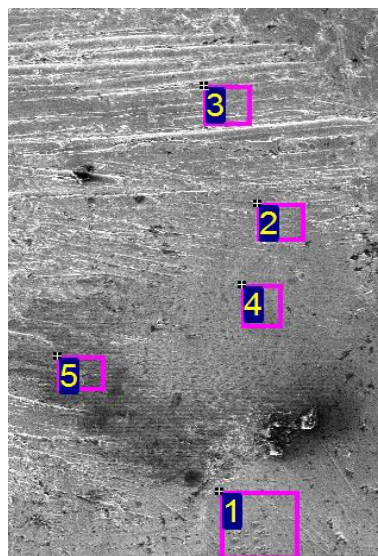


Рисунок 3.16. – Залежність коефіцієнта тертя від величини магнітної індукції сталі ШХ15 по ЛС59-1 в оливах M10Г2к і 5W40,

Аналіз поверхні сталі ШХ15 по контртілу зі сталі 30ХГСА у середовищі мінеральної оливи M10Г2к з додаванням у її склад діамагнітного модифікатора міді оже-спектроскопією по поверхні контакту свідчить про неоднорідне покриття робочої зони мідною складовою (рис.3.17). Вибір робочої пари феромагнетик по феромагнетику пояснюється тим, що за даних умов досліджувався вплив МП $S - N - S - N$ напрямку на діамагнітний нанопорошок мідь, зокрема його перенесення на поверхню тертя в середовищі мінеральної оливи M10Г2к.

Наявність міді відмічено точками 2 та 4 на рис.3.17, розміщеними в зоні конта-

кту. Точки 1, 3 та 5 на рис.3.17 розміщені поза зоною контакту; вміст міді дорівнює нулю.



Спектр	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Итого
1	2.38	3.32	0.04	0.79	0.51	0.12	1.05	1.31	90.49	0.00	0.00	100.00
2	3.27	3.19	0.30	0.12	0.26	0.09	1.45	0.00	89.2	1.92	0.21	100.00
3	2.97	3.24	0.17	0.20	0.31	0.00	1.50	0.00	91.46	0.00	0.15	100.00
4	2.45	2.71	0.00	0.26	0.45	0.16	0.83	0.44	90.57	1.70	0.43	100.00
5	4.80	6.96	0.47	0.93	0.44	2.66	1.57	0.00	81.44	0.06	0.68	100.00

Рисунок 3.17. – Поелементний аналіз оже-спектроскопією робочої поверхні тертя сталі ШХ15 ($\times 100$)

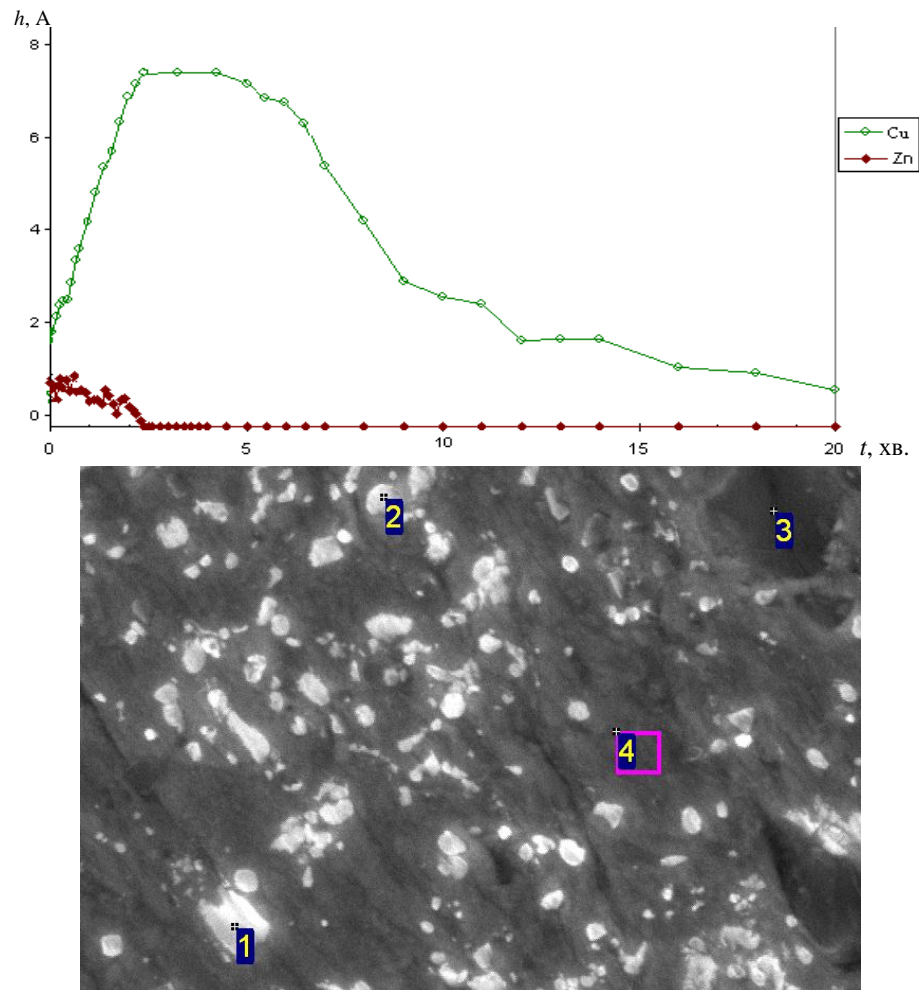
Таким чином, мідна складова активізується в місцях нестабільного стану матеріалу. Вміст міді на глибині до 5 нм становить близько 7 % (рис.3.18).

Зовнішній вигляд мідного вкраплення має форму кулі, що характеризує перенесення модифікуючого мідного нанопорошку з ММ на робочу поверхню (рис.3.18,б).

Подальше стравлювання поверхневого шару вказує на зменшення кількості міді. На глибині утвореної захисної плівки понад 20 нм зміна елементного складу залишається на рівні сталі ШХ15 (рис.3.19).

Зміщення діамагнітного матеріалу під дією МП (0,3 Тл) у зону від'ємного градієнта густини магнітних ліній зумовлює насичення вмістом міді (модифікатора) робочого середовища, що провокує осадження мідної складової на робочу поверхню. Осадження діамагнітного елемента міді на енергетично нестабільну частину ма-

теріалу (рис.3.17, точки 2 та 4) відбувається за рахунок деформування поверхні, що проходить у процесі тертя.



Спектр	C	O	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Итог
1	0.34	3.18	5.51	0.15	1.95	1.36	80.21	7.3	100.00
2	0.65	5.43	8.49	0.37	1.59	0.00	76.46	7.1	100.00
3	0.85	41.87	0.14	29.37	0.25	1.29	26.08	0.15	100.00
4	0.76	0.00	0.00	0.48	1.14	0.60	97.02	0.00	100.00

Рисунок 3.18. – Поелементний склад робочої поверхні зразка зі сталі ШХ15 по сталі 30ХГСА в оливі М10Г2к з мідним модифікатором у її складі: а) наявність діамагнітних матеріалів на поверхні при стравлюванні; б) загальний вигляд діамагнітного мідного вкраплення на поверхні ($\times 15000$)

Таким чином, для зміщення діамагнітного матеріалу в робочу зону для її насичення необхідно розташувати МП поза робочою зоною, а саме – перед потоком переміщення робочого середовища.

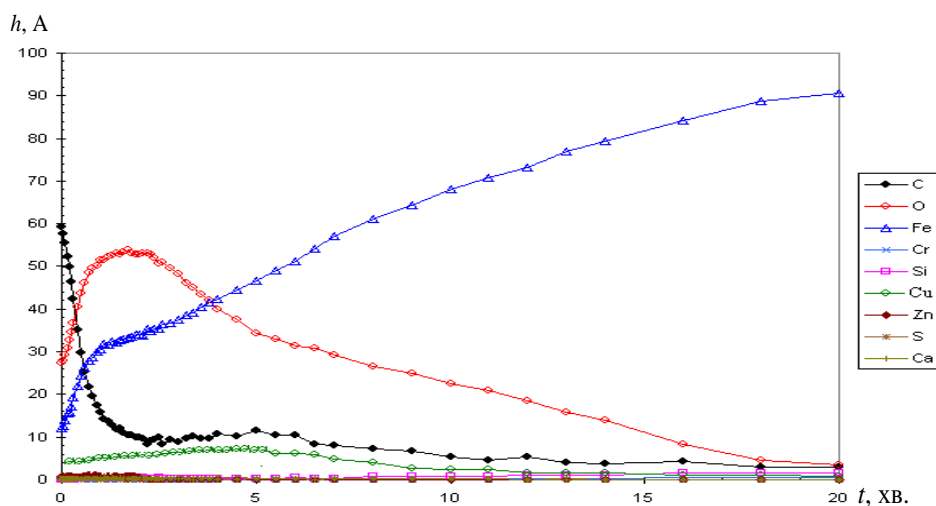


Рисунок 3.19. – Поелементний аналіз оже-спектроскопією поверхневих плівок сталі ШХ15

На рис.3.20 наведено результати оже-аналізу щодо наявності хімічних елементів на робочій поверхні до стравлювання (а) та після на глибину 20 нм (б).

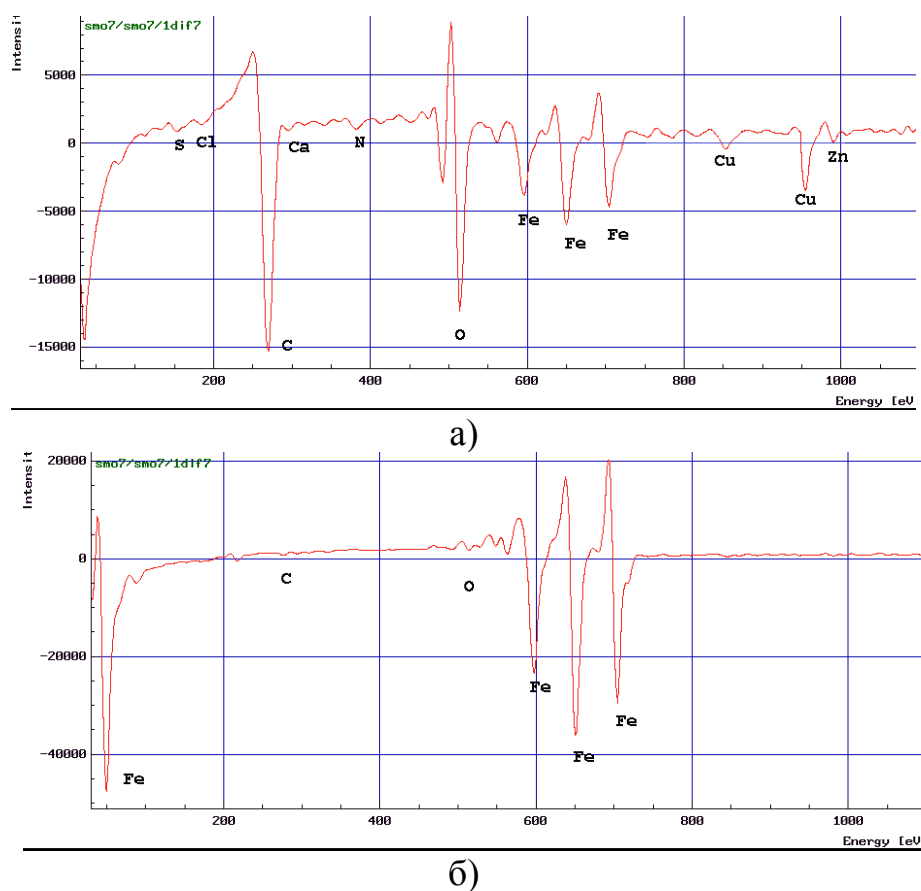


Рисунок 3.20. – Наявність хімічних елементів на робочій поверхні тертя до стравлювання (а) і після стравлювання на глибину 20 нм (б)

Як видно з рис.3.20,а на поверхні наявні модифікатори, що входять у склад оливи М10Г2к (використане робоче середовище), зокрема кальцій, цинк, сірка, хлор, які напрямленою дією МП перемістилися у робочу зону, де брали участь у створенні захисних плівок. Після проведення стравлювання робочої поверхні на глибину 20 нм модифікаторів на поверхні немає (рис.3.20,б).

3.3. Керування ХАДО-присадками дією магнітного поля для підвищення ресурсу робочих поверхонь під час експлуатації

Оскільки присадки значно підвищують експлуатаційні властивості олив, тому для збільшення ресурсу прецизійних пар, а відповідно і ресурсу вузлів та механізмів енергоустановок АНТ у процесі експлуатації, доцільно дослідити вплив МП на змащувальне середовище, що має у своєму складі присадки, виготовлені на основі природних силікатних мінералів, та визначити вплив МП на них. Такі присадки ХАДО (геомодифікатори), потрапляючи в робочу зону, вносять структурні зміни в робочу поверхню, які здатні її модифікувати в заданому напрямку [88].

У процесі експлуатації між деталями що труться присадки ХАДО формують квазіпостійні по товщині металокерамічні шари, коефіцієнт тертя яких у десятки разів менший за коефіцієнт тертя у парі метал-метал [89]. Так, у праці [90] доведено, що з геомодифікатором тертя ХАДО показали можливість зниження зношування гільзи циліндра у три, а поршневих кілець у півтора рази.

Для досліджень використовували зразок зі сталі 2, скло, сталь 3 (контртіло), робоче середовище – моторна олива М10Г2к, присадка до робочого середовища – ХАДО. Вплив МП на процес тертя створювали постійним магнітом з можливістю зміни напрямку магнітних ліній (рис.2.10,е,є).

Експерименти проводились на пристрої на тертя та зношування. Дослідження інтенсивності зношування проводили за схемою контакту площина-палець. Постійні магніти розміщували таким чином, щоб МП перетинало площину тертя перпендикулярно.

Поверхні сталюого зразка по контртілу склу в робочому середовищі

М10Г2к з ХАДО-присадками на різних полюсах постійного магніту та без впливу МП показано на рис.3.21.

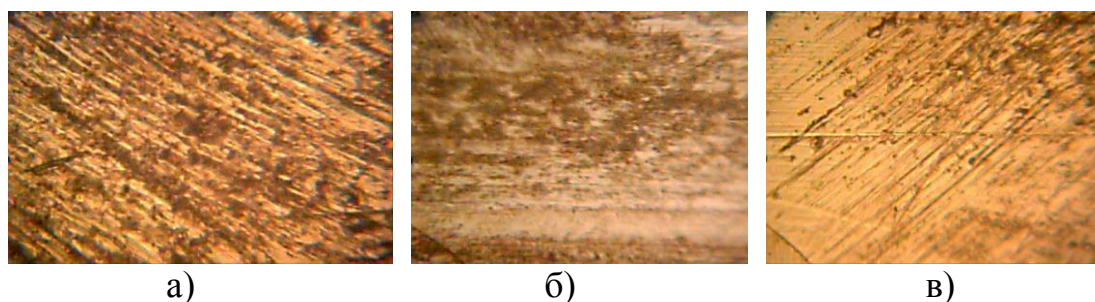


Рисунок 3.21. – Поверхні сталі 2 по контртілу склу в робочому середовищі М10Г2к із ХАДО-присадками а – без МП і за б – *N*; в – *S* схемами впливу МП (рис.2.10,е,є) ($\times 400$)

На поверхні без впливу МП (рис.3.21,а) майже немає захисних плівок, а поверхня має 4-й клас шорсткості, а отже інтенсивність зношування в цьому випадку висока і становить $-0,01 \dots -0,02$ мкм/км (рис.3.22).

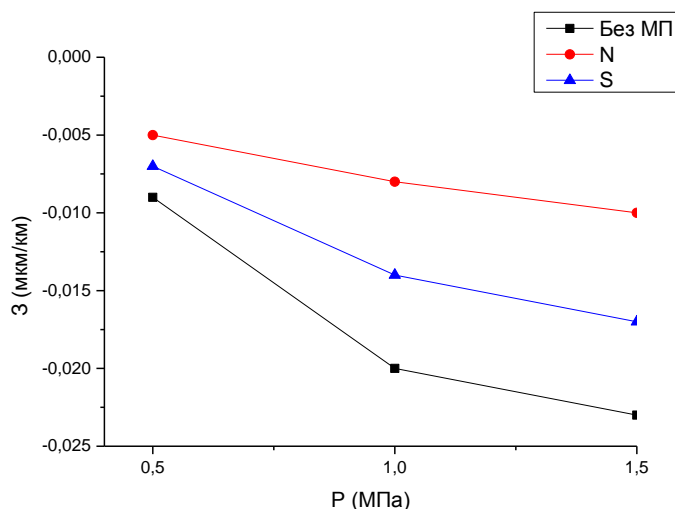


Рисунок 3.22. – Залежність інтенсивності зношування сталі 2 по склу в робочому середовищі М10Г2к із ХАДО-присадками під дією МП від нормального навантаження

На рис.3.21,б показано поверхню навпроти полюса *N* постійного магніту. Вона вкрита плівками і має значно меншу шорсткість (8-й клас), що зумовлено тим, що в умовах тертя навпроти полюса *N* продукти зношування та ХАДО-присадки притя-

гуються до поверхні зразка і утворюють товстий шар захисних плівок. Відповідно зношування нижче ніж в умовах тертя без МП $-0,005 \dots -0,01 \text{ мкм/км}$ (рис.3.22). Поверхня зразка (рис.3.21,в), розміщеного напроти полюса S постійного магніту, характеризується незначною кількістю захисних плівок. Це пояснюється тим, що МП напрямлене від полюса S до полюса N , а отже модифікатори оливи виносяться із зони дотику феромагнітного зразка через напрям магнітних ліній в робоче середовище. При цьому відповідно кількість захисних плівок мала, оскільки матеріалу для їх утворення мало, а рівень зношування вищий ніж на полюсі N $-0,01 \dots -0,017 \text{ мкм/км}$ (рис.3.22), однак нижчий ніж без впливу МП, оскільки така експлуатаційна характеристика, як кінетика її розтікання за даних умов буде інтенсивнішою ніж без МП, а кут змочування оптимальнішим.

Топографічні дослідження феромагнітної робочої пари зразка із сталі 2 по контртілу із сталі 3 в робочому середовищі М10Г2к з ХАДО-присадками під дією МП показані на рис.3.23.

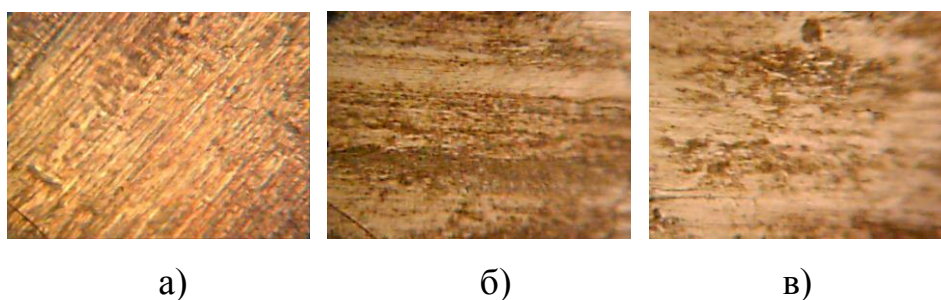


Рисунок 3.23. – Топографія робочої поверхні сталі 2 по контртілу зі сталі 3 в робочому середовищі М10Г2к із ХАДО-присадками під дією МП ($\times 400$): а – без МП; б – N ; в – S

Аналізуючи робочу поверхню без дії МП (рис.3.23,а), необхідно зазначити, що як і у випадку з контртілом склом поверхня характеризується значним рівнем зношуваності $-0,01 \dots -0,03 \text{ мкм/км}$ (рис.3.24) має 4-й клас шорсткості і захисних плівок на ній немає. Поверхня тертя на полюсі N характеризується шорсткістю в межах 7-го класу та рівномірним розподілом захисних плівок у найбільшій кількості. Клас шорсткості робочої пари навпроти полюса S знижується до 8-го.

Поверхню зразка розміщеного на полюсі N , що характеризується наявністю великою кількістю захисних плівок, які утворюються із модифікаторів оливи, що втягуються в робочу зону, і як в експерименті із контртілом склом пояснюється напрямленням МП, зображено на рис.3.23, б. Рівень зношування нижчий ніж в умовах тертя без впливу МП $-0,009 \dots -0,016$ мкм/км (рис.3.24).

Хімічний аналіз поверхні показано на рис.3.25. Поверхня характеризується наявністю численних модифікаторів, що зумовлює нижчий рівень її зношування (рис.3.24).

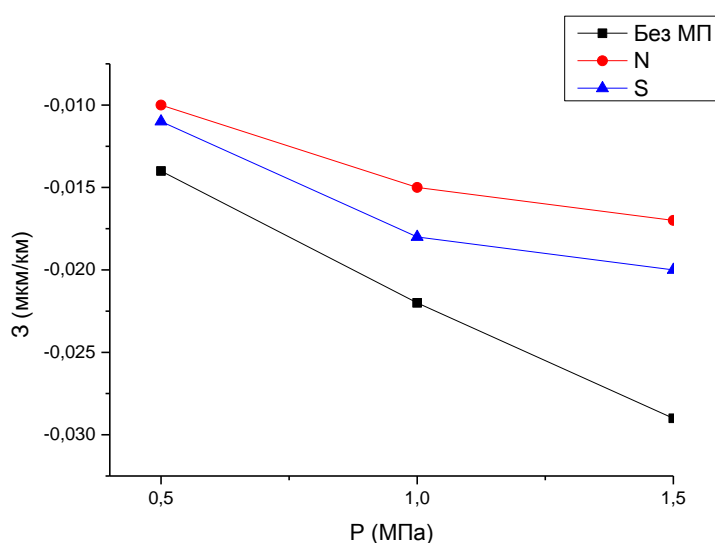


Рисунок 3.24. – Залежність інтенсивності зношування сталі 2 по сталі 3 в М10Г2к із ХАДО-присадками під дією МП від нормального навантаження

На поверхні зразка в умовах тертя на полюсі S наявна невелика кількість захисних плівок (рис.3.23,в). Це свідчить про те, що під час тертя на полюсі S модифікатори оливи, як і в експерименті із контртілом склом, виносяться за робочу зону в робоче середовище направленою силою магнітних ліній, що й пояснює незначну кількість захисних плівок на поверхні, а рівень зношування відповідно вищий ніж на полюсі N , а саме $-0,01 \dots -0,02$ мкм/км (рис.3.24).

Отримані результати показали, що для зниження інтенсивності зношування робочої поверхні з використанням ХАДО-присадок важливим фактором є вплив постійно-

го МП на вузол тертя, ефективність якого найбільше проявляється на полюсі *N*.

Для проведення подальших досліджень обрано матеріали таким чином, щоб МП діяло лише на оливу М10Г2к, що містить ХАДО-присадки. Для цього матеріалом для контртіла та зразка був сплав ЛС59-1, оскільки це діамантний матеріал. Схему проходження магнітних ліній в експериментах ілюструє рис.2.10,а,б.

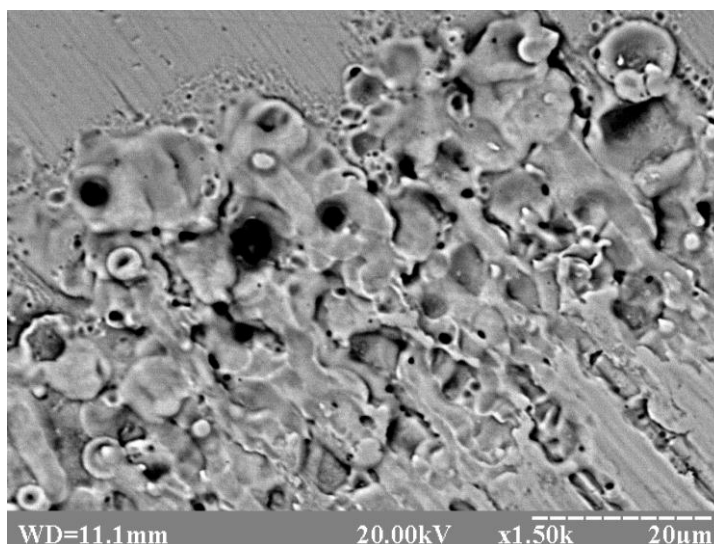
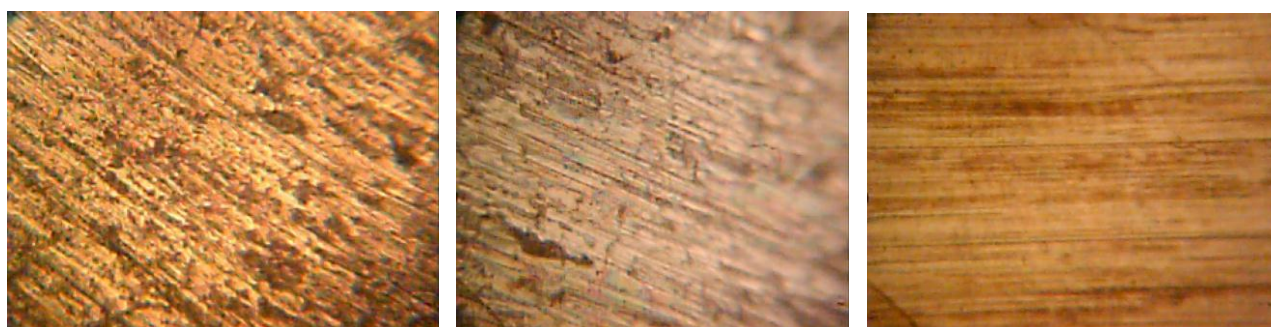


Рис.3.25. Поверхня тертя сталі 2 по сталі 3 в робочому середовищі М10Г2к із ХАДО-присадками під дією МП ($\times 1500$)

На рис.3.26 представлена топографія поверхонь латунного зразка по діамантному латунному контртілу в середовищі М10Г2к із ХАДО-присадками під дією МП.



а)

б)

в)

Рисунок 3.26. – Топографія поверхні сплаву ЛС59-1 по ЛС59-1 у робочому середовищі М10Г2к із ХАДО-присадками під дією МП ($\times 400$): а) без МП; б) *S – N*; в) *N – S*

Аналізуючи рис.3.26,а, можна зробити такий висновок. Поверхня в робочому середовищі без впливу МП має значний рівень зношуваності $-0,03 \dots -0,035$ мкм/км (рис.3.27) тому що на ній немає захисних плівок та вона має 4-й клас шорсткості, оскільки ХАДО-присадки довільно розміщуються в оливі.

Поверхні діамантного зразка в середовищі з напрямком МП $S - N$ (рис.3.26,б) має незначну кількість захисних плівок за рахунок впливу МП на ХАДО-присадки та спрямування їх від контртіла у робоче середовище, тим самим зменшуючи кількість матеріалу для створення захисних плівок. Рівень зношування зразка в даному випадку найвищий – до $-0,03$ мкм/км (рис.3.27). Під час тертя у середовищі під дією $N - S$ напрямку МП поверхня характеризується численними захисними плівками, що пояснюється напрямленням магнітних ліній, які притискають магнітні складові ХАДО-присадок до контртіла, тим самим збільшуючи кількість матеріалу, для створення поверхневих плівок, оскільки робочий зразок в умовах тертя «забирає» їх на робочу поверхню.

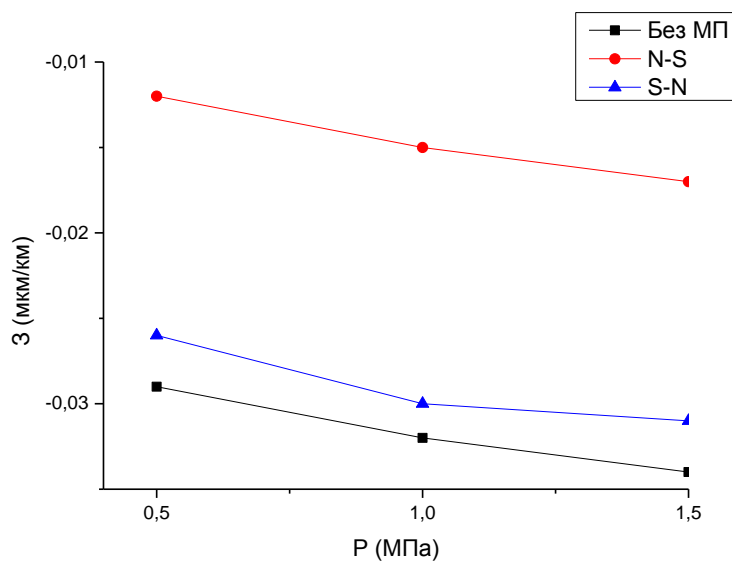


Рисунок 3.27. – Залежність інтенсивності зношування сплаву ЛС59-1 по ЛС59-1 у робочому середовищі М10Г2к із ХАДО-присадками під дією МП від нормального навантаження

У порівнянні із $S - N$ напрямком МП рівень зношування при $N - S$ напрямку МП сягає $-0,015$ мкм/км (рис.3.27).

3.4. Оптимізація технічного стану робочих поверхонь під дією магнітного поля на мастильний матеріал із вмістом нанопорошків різної магнітної природи

Механізм роботи магнітних оливо, у складі яких є наночастинки намагніченого металевого порошку найближче відображає умови роботи вузла АПН у змащувальних середовищах під дією МП і процеси зношування робочих поверхонь при цьому [91, 92].

Для модельних досліджень впливу МП на присадки з різними магнітними характеристиками використано нанопорошки металів, що мають різні магнітні властивості.

Використання МП як зовнішнього енергетичного джерела, що впливає на властивості матеріалів найбільш інтенсивно відображається в процесі енергетичного дисбалансу системи. Вплив МП на матеріали, що складаються з електронів та іонів, найефективнішим у разі нестабільного стану, якого набуває матеріал в процесі тертя під час експлуатації. Тому напрямлена дія МП на внутрішню структуру оливи за даних умов становить значний інтерес для використання його властивостей у процесах підвищення надійності вузлів під час експлуатації та механізмів через зниження рівня зношування поверхонь:

1. Магнітна індукція у разі незначної зміни напрямлення магнітного потоку, що пронизує об'єм робочого середовища, впливає на спрямоване переміщення модифікаторів.

2. Ферромагнітні матеріали в зоні впливу МП повністю підлягають напрямленій дії магнітних силових ліній через їх високу магнітну сприйнятливність.

3. Парамагнітні матеріали в МП слідуєть його напрямленості.

4. Немагнітні частинки (діамагнетики) виштовхуються із силової зони МП.

5. Фізична суть зниження інтенсивності зношування під дією МП полягає в тому, що МП змінює траєкторію електронів або іонів (та навіть цілих наноструктур), що мають відповідні магнітні моменти.

На підставі факторів, що впливають на поведінку внутрішнього стану матеріалу в умовах терті у процесі експлуатації та на зміни поведінки модифікаторів ММ у

МП, необхідно визначати умови і параметри перенесення їх у робочу зону. Використання магнітних технологій зниження інтенсивності зношування робочих поверхонь нівелює негативні умови існування високого електричного опору у змащувальних оливах.

Оскільки використання антифрикційних домішок, зокрема додавання їх у робоче середовище, продовжує працездатність і ТС прецизійних пар [92], тому були проведені дослідження топографії робочих поверхонь у середовищах моторних олив M10Г2к і 5W40 з додаванням модельних нанопорошків з різною магнітною складовою.

Для модельного дослідження зниження інтенсивності зношування робочих поверхонь прецизійних пар дією МП було використано латунний сплав ЛС59-1 як контртіло та сталь 45, загартовану на мартенсит як робочий зразок. Схеми проходження магнітних ліній зображено на рис.2.10,в,г,д.

Утворення вторинних структур реєструвалось за допомогою установки показаної на рис.2.6.

Модифікатори оливи, що містяться у робочому середовищі, залежно від своєї магнітної характеристики рухаються згідно з напрямком магнітних силових ліній МП [93 – 96]. Тому МП впливає безпосередньо на робоче середовище, а не на робочий вузол, тобто діє поза зоною тертя. Таким чином, інтенсивність зношування поверхні в основному залежить від напрямленості модельного нанопорошку, що додається в робоче середовище, та наявних в оливі модифікаторів, які за певних умов впливу МП спрямовуються безпосередньо на робочу поверхню, де беруть участь у створенні захисних плівок, знижуючи таким чином інтенсивність зношування поверхні та підвищуючи надійність механізму в цілому. Топографії поверхонь сталі 45 з додаванням феромагнітного нанопорошку нікелю в робоче середовище M10Г2к і 5W40 за різних напрямків магнітних ліній та величини магнітної індукції вказують на те, що за різних умов впливу МП результати будуть різні (рис.3.28).

Оскільки нікель є феромагнетиком, то МП буде повністю керувати його переміщенням, тому за напрямку $S - N - S - N$ МП та 0,3 Тл магнітної індукції нікель перебуває лише в зоні дії МП. Тобто він не потрапляє на робочу поверхню.

M10Г2к

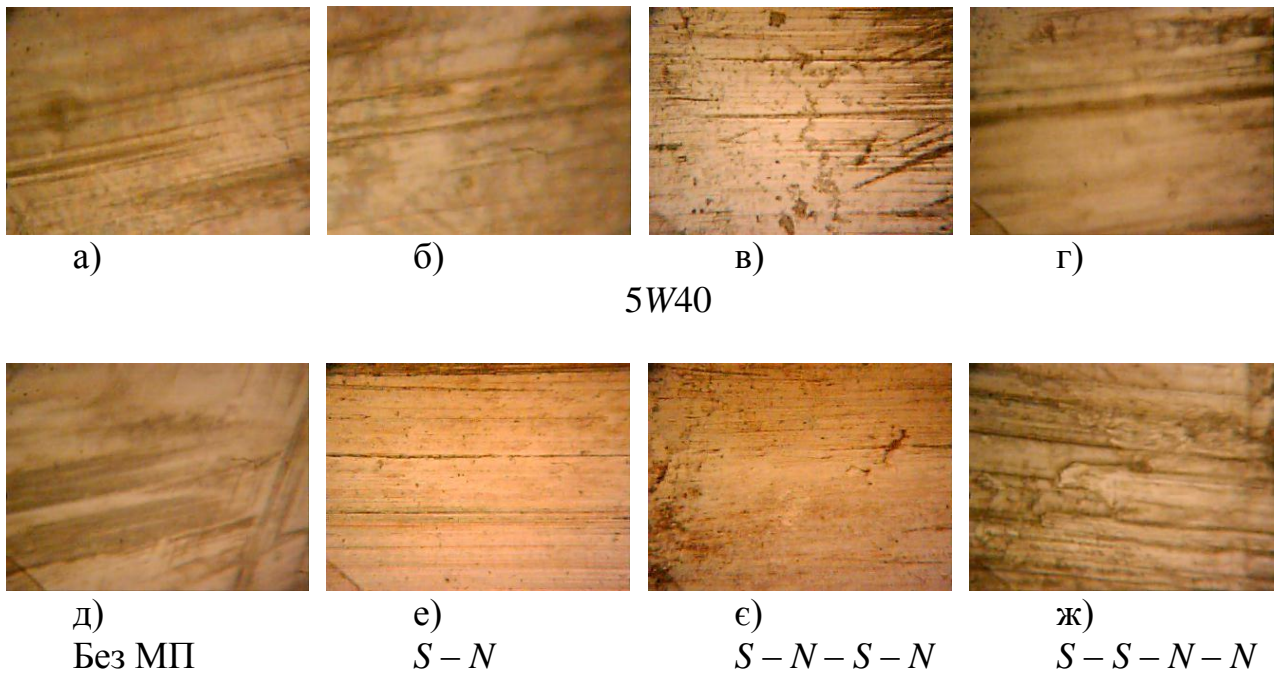


Рисунок 3.28. – Топографія поверхонь тертя сталі 45 по контргілу ЛС59-1 в оброблених МП середовищах M10Г2к і 5W40 з додаванням модельного нанопорошку нікелю з різним напрямленням магнітних ліній (рис.2.10 в, г, д) та величиною магнітної індукції, ($\times 400$)

На рис.3.28,в,є кількість захисних плівок незначна, що й пояснюється відсутністю нанопорошку в робочій зоні. Таким чином, інтенсивність зношування поверхні у цьому випадку є найвищою в середовищі обох олив, як M10Г2к (рис.3.29,а), і 5W40 (рис.3.29,б) та становить 0,002...0,005 мкм/км. Залежність інтенсивності зношування зразків із феромагнетика сталі 45 по діамагнетику ЛС59-1 у середовищі M10Г2к і 5W40 з додаванням модельного нанопорошку нікелю під дією МП від нормального навантаження показано на рис.3.29.

Топографії поверхонь представлені на рис.3.28,б,є напрям МП $S-N$ характеризуються більш значною наявністю захисних плівок, ніж на рис.3.28,в,є, оскільки у цьому випадку величина магнітної індукції дорівнює 0,15 Тл, відповідно кількість нанопорошку для їх створення дещо більша, ніж у попередньому випадку, відповідно і інтенсивність зношування нижча і становить 0,005...0,009 мкм/км (рис.3.29).

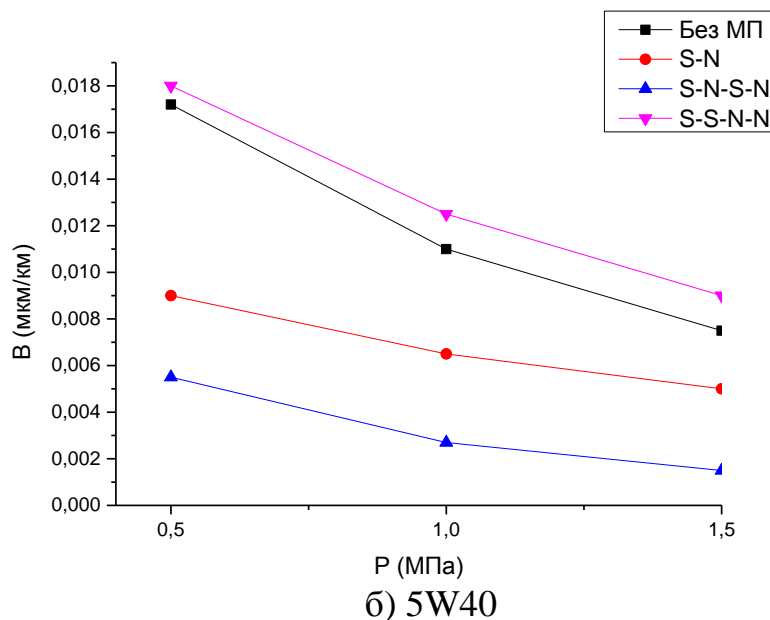
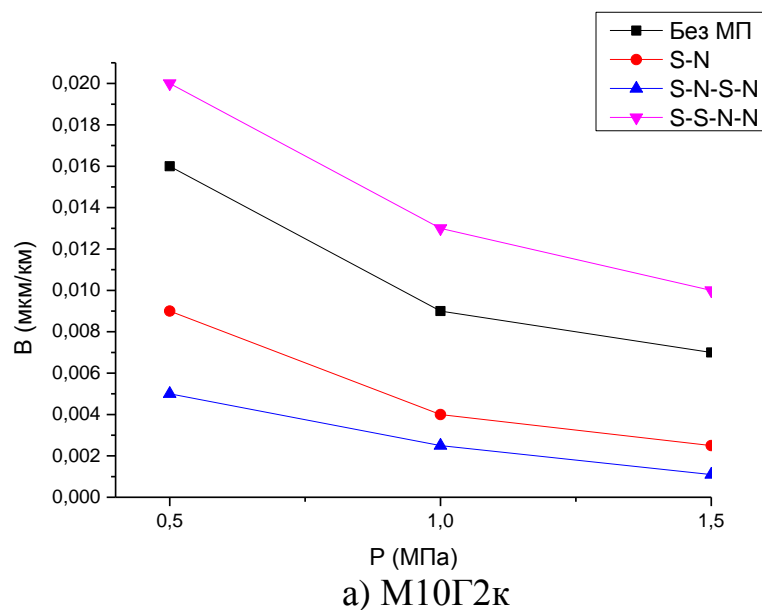


Рисунок 3.29. – Залежність інтенсивності зношування сталі 45 по діаманетику ЛС59-1 у середовищах M10Г2к і 5W40 з додаванням модельного нанопорошку ферромагнетика нікелю під дією МП на ММ від нормального навантаження

На рис.3.28,г,ж показано робочі поверхні з напрямленням $S - S - N - N$ МП та 0,3 Тл магнітної індукції, які значно інтенсивніше вкриті захисними плівками, оскільки згідно з напрямленням МП нікель виноситься із зони дії МП у середовище, насичуючи його, тобто потрапляє на робочу поверхню, що підтверджують результати хімічного аналізу поверхні, отримані за допомогою використання растрової мікроскопії і показані на рис.3.30 (1,5 % нікелю на поверхні сталі 45).

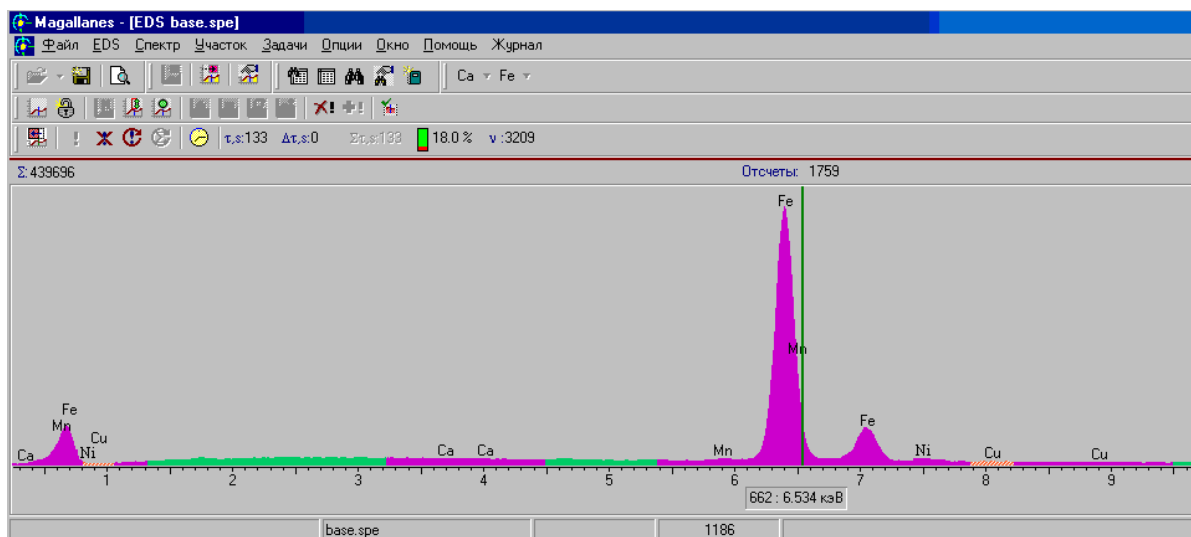


Рисунок 3.30. – Хімічний аналіз поверхні сталі 45 по контртілу ЛС59-1 в обробленому МП (0,3 Тл) $S - S - N - N$ напрямлення МП в середовищі М10Г2к з додаванням модельного нанопорошку нікелю; поверхню тертя представлена на рис 3.28,г

Відповідно кількість захисних плівок більша ніж у попередніх двох випадках, а інтенсивність зношування сягає 0,009...0,019 мкм/км (рис.3.29).

В умовах тертя без дії МП (рис.3.28,а,д) феромагнетик нікель рівномірно розподіляється у робочому середовищі та постійно потрапляє на робочу поверхню , а інтенсивність зношування становить 0,008...0,017 мкм/км (рис.3.29). Однак працездатність захисних плівок за даних умов є найнижчою порівняно із попередніми (під дією МП на ММ) і становить 3...5 хв. до повного стирання плівки, тоді як при дії МП на ММ – 15...20 хв.

Виходячи з результатів досліджень, оптимальним для використання феромагнітного модельного нанопорошку для зниження інтенсивності зношування робочої поверхні в змащувальному середовищі, обробленому МП, є $S - S - N - N$ напрямок впливу МП на ММ.

Як відомо парамагнетик МП напрямлений в бік додатного градієнта густини магнітних ліній. З метою дослідження впливу МП на парамагнітний матеріал обрано модельний модифікатор нанопорошок олова. Для досліджень зниження інтенсивності зношування робочої поверхні сталі 45 при дії МП на ММ, його додавали у робоче середовище, зокрема у склад олів М10Г2к та 5W40, і досліджували за різних на-

прямокх магнітних ліній (рис.2.10) та величини магнітної індукції.

Топографії поверхонь зразків зі сталі 45 по контртілу ЛС59-1 в оброблених МП середовищах М10Г2к і 5W40 з додаванням модельного нанопорошку олова з різним напрямленням магнітних ліній та величиною магнітної індукції зображенні на рис.3.31.

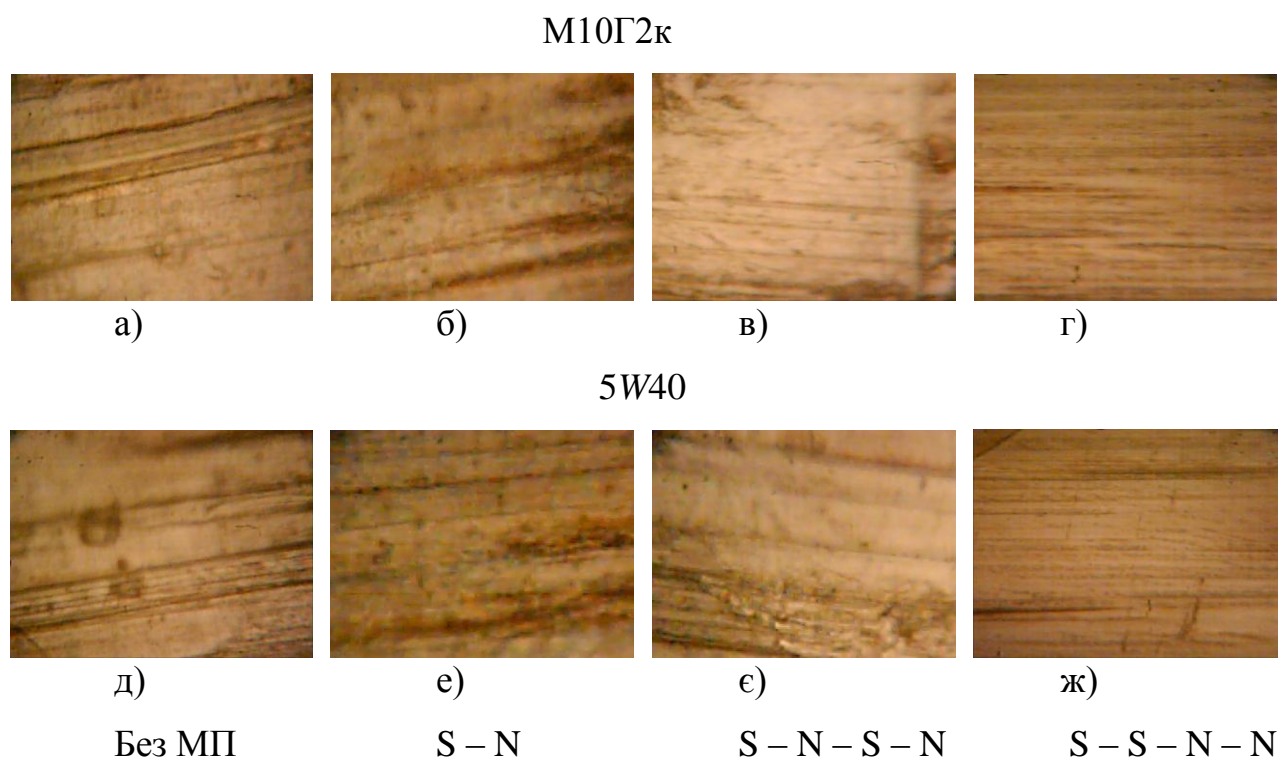
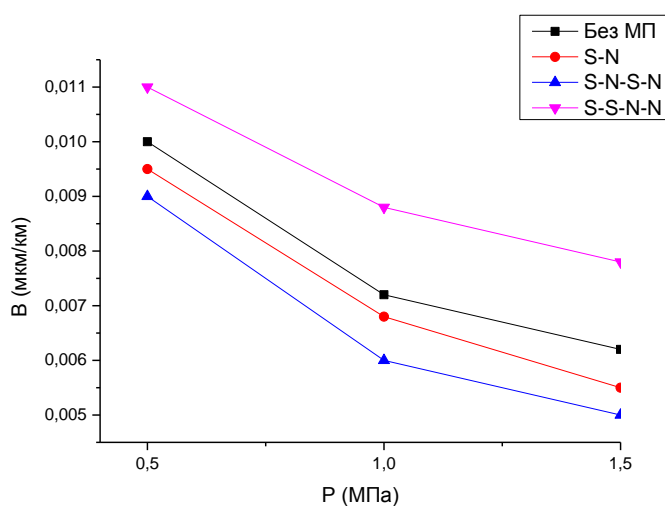


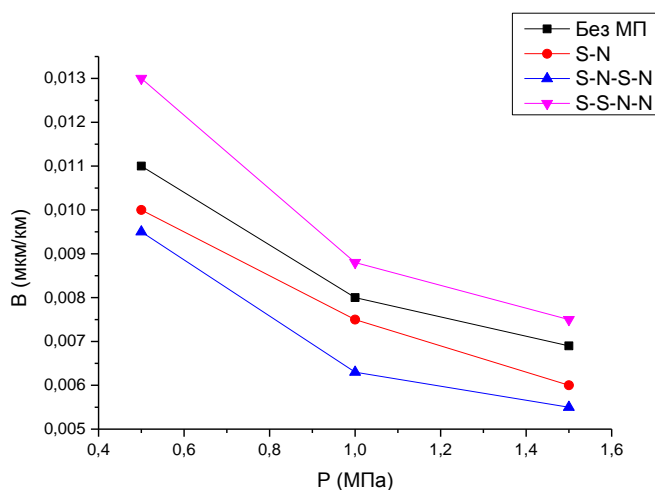
Рисунок 3.31. – Топографія поверхонь сталі 45 по контртілу ЛС59-1 в оброблених МП середовищах М10Г2к та 5W40 з додаванням модельного нанопорошку парамагнетика олова з різним направленням магнітних ліній (рис.2.10,в,г,д) та величиною магнітної індукції ($\times 400$)

Механізм зниження інтенсивності зношування робочих поверхонь використанням модельного нанопорошку парамагнетика олова такий самий як із феромагнетиком нікелем, але результати дещо інші, оскільки в умовах тертя із парамагнетиком робоче середовище має більшу кількість модифікаторів для створення захисних плівок, оскільки певна кількість олова все ж виноситься із зони дії МП за рахунок того, що магнітна сприйнятливність олова значно нижча ніж нікелю, і потрапляє на робочу поверхню. Таким чином, поверхні під впливом МП інтенсивніше вкриті за-

хисними плівками (рис.3.31,б,в,е,є), а інтенсивність зношування нижча (рис.3.32).



а) M10Г2к



б) 5W40

Рисунок 3.32. – Залежність інтенсивності зношування сталі 45 по діаманетику ЛС59-1 у середовищі M10Г2к і 5W40 з додаванням модельного нанопорошку олова під дією МП на ММ від нормального навантаження

Поверхні, показані на рис.3.1б,е при $S - N$ напрямку МП більшою кількістю захисних плівок ніж на рис.3.31,в,є, це пояснюється тим, що величина магнітної індукції дорівнює 0,15 Тл, а вплив МП на парамагнетик олово слабший, ніж у попередньому випадку, відповідно кількість нанопорошку за межами дії МП для утворення захисних плівок більша. Плівки, утворені на поверхнях, характеризуються більшою товщиною, відповідно інтенсивність зношування становить (0,006...0,01) мкм/км (рис.3.32).

За напрямленням $S - N - S - N$ МП та 0,3 Тл магнітної індукції олово значною мірою перебуває в зоні впливу МП. Певний його відсоток потраплятиме на поверхню тертя, але його кількість для створення захисних плівок невелика, тому створені захисні плівки мають малу товщину (рис.3.31,в,є), а інтенсивність зношування найвища – 0,005...0,009 мкм/км.

Але порівняно із феромагнетиком нікелем рівень відновлення вищий (рис.3.32) за рахунок слабшого впливу МП на парамагнетик та наявності більшої кількості модельного нанопорошку олова у середовищі олів M10Г2к і 5W40 для утворення захисних плівок на поверхні.

На рис.3.31,г та рис.3.31,ж показано робочі поверхні з напрямком $S - S - N - N$ МП та 0,3 Тл магнітної індукції, що більш інтенсивніше вкриті захисними плівками. Причиною цього є те, що згідно з напрямлення МП олово виноситься із зони дії МП у середовище, і потрапляє на поверхню, де бере активну участь у створенні захисних плівок. Таким чином, потрібно зауважити, що інтенсивність зношування становить 0,0075...0,011 мкм/км (рис.3.32), що підтверджується результатами хімічного аналізу (рис.3.33).

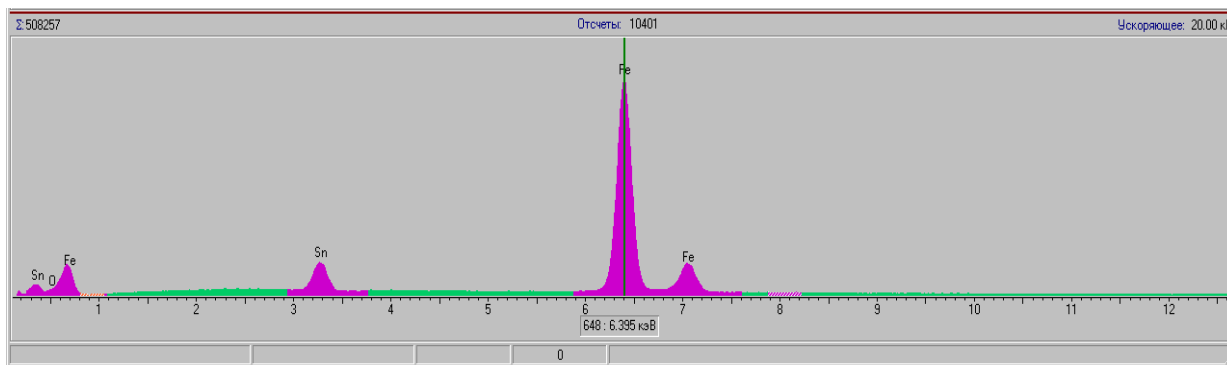
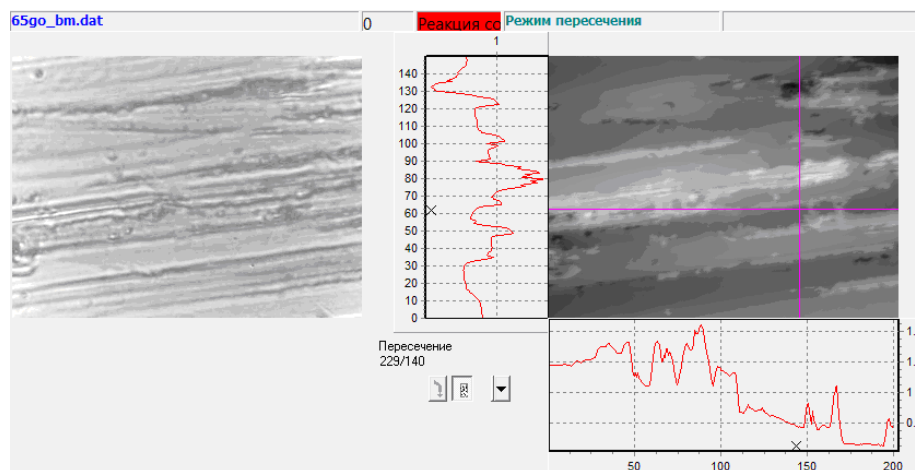


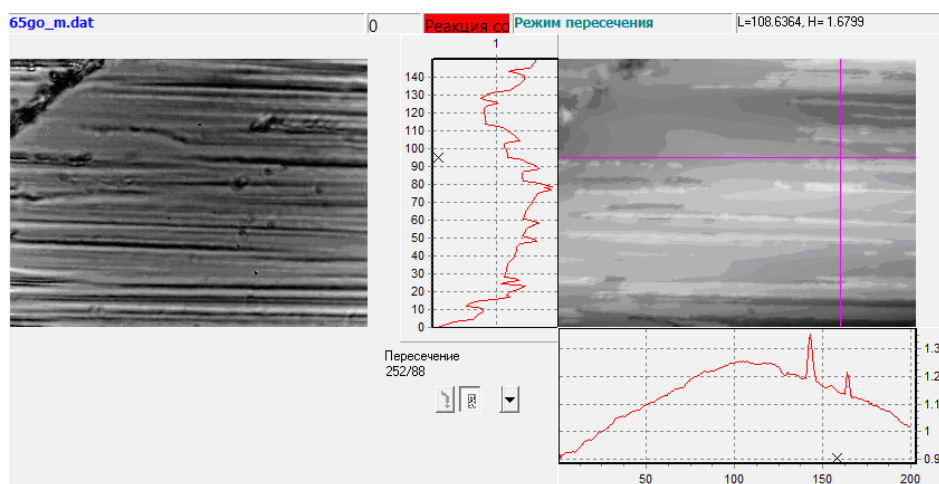
Рисунок 3.33. – Хімічний аналіз поверхні зразка зі сталі 45 по контртілу ЛС59-1 в обробленому МП (0,3 Тл) $S - S - N - N$ напрямку середовищі M10Г2к з додаванням модельного нанопорошку олова

Що стосується якості захисної плівки [97], то варто зауважати, що коли на робоче середовище діє МП, то захисна плівка, яка утворюється на поверхні, хоч і тонша 0,006...0,008 мкм, але більш рівномірна (рис.3.31,б,є), еластичніша і має вищий

рівень працездатності ніж без впливу МП, яка є товщою (рис.3.31,а,д) – 0,014...0,016 мкм, але швидко злущується. Доказом цього є проведені дослідження на безконтактному 3D профілографі «Мікрон-альфа», що показали топографію поверхні та аналіз товщини плівок при відновленні з використанням парамагнетика олова без дії МП (рис.3.34,а) та при $S - N - S - N$ напрямку і величини магнітної індукції 0,3 Тл (рис.3.36,б).



а)



б)

Рисунок 3.34. – Профілограма поверхні тертя сталі 45 по діаманетику ЛС59-1 у середовищі М10Г2к з додаванням модельного нанопорошку олова: а) без МП, б) $S - N - S - N$ напрямку МП

На поверхні, зображеній на рис.3.34,а, без впливу МП чітко видно характер утворених захисних плівок, товщина яких становить близько 0,016 мкм, а площа їх

покриття поверхні – 40 %.

Із рис.3.34,б видно, що захисна плівка на поверхні при дії МП характеризується товщиною 0,006...0,008 мкм на площі 80 % і рівномірно вкриває шорсткість поверхні.

Таким чином, під дією МП на оливи, захисна плівка, яка утворюється на поверхні, інтенсивніше її вкриває. Це пояснюється також і тим, що як було зазначено в розділі третьому: із підвищенням заряду оливи покращуються її експлуатаційні характеристики (кінетика розтікання, краєвий кут змочування), що покращує ТС прецизійної пари.

Механізм зниження інтенсивності зношування робочої поверхні під дією МП (рис.2.10) з використанням модельного нанопорошку діаманетика міді (рис.3.35.) відрізняється від попередніх.

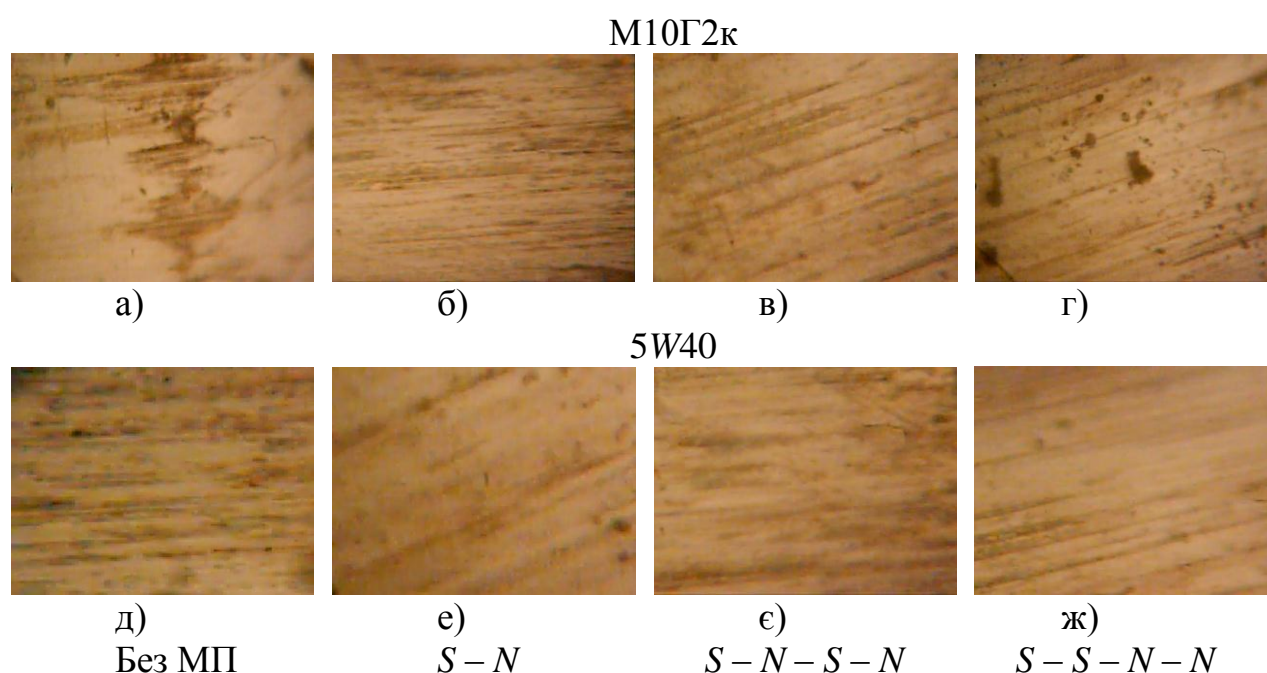


Рисунок 3.35. – Топографія поверхонь сталі 45 по контртілу ЛС59-1 в обробленому МП середовищі M10Г2к і 5W40 з додаванням модельного нанопорошку міді з різним направленням магнітних ліній (рис.2.10,в,г,д) та величиною магнітної індукції ($\times 400$)

Оскільки діаманетик має протилежний напрямок ніж МП, то у випадку, коли

МП має $S - N$ (0,15 Тл) та $S - N - S - N$ (0,3 Тл) напрямки, діаманетик виноситься із зони дії МП у робоче середовище, але з різною інтенсивністю.

Якщо МП має $S - N$ напрямком і величину 0,15 Тл магнітної індукції, тоді мідь із зони впливу МП виноситься в оливу, беручи безпосередню участь у створенні захисних плівок на робочій поверхні (рис.3.35,б,д). Поверхня у свою чергу характеризується інтенсивністю зношування (0,011...0,017) мкм/км (рис.3.36).

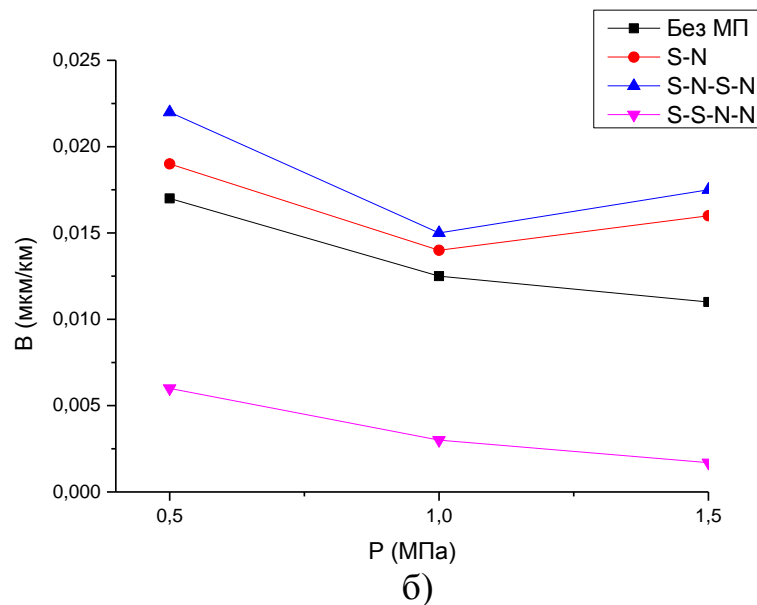
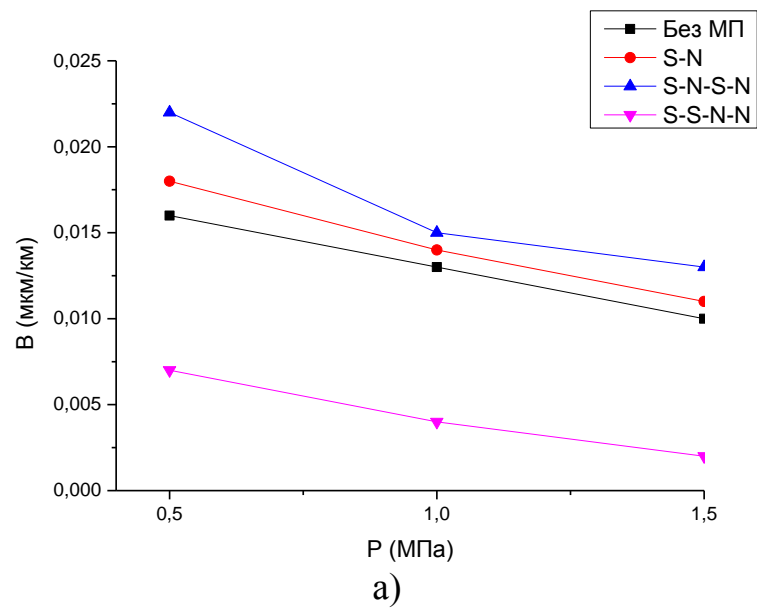


Рисунок 3.36. – Залежність інтенсивності зношування сталі 45 по діаманетику ЛС59-1 у середовищі М10Г2к і 5W40 з додаванням модельного нанопорошку діаманетика міді під дією МП на ММ від нормального навантаження

Якщо напрямлення МП $S - N - S - N$, а величина магнітної індукції МП дорівнює 0,3 Тл, тоді модельний мідний нанопорошок виноситься із зони впливу МП в оливу вдвічі інтенсивніше ніж за $S - N$ напрямку МП. Таким чином, у середовищі оливи модельного нанопорошку міді більше для створення захисних плівок на поверхні тертя. Топографія поверхонь у цьому випадку характеризується наявністю міді (рис.3.35) та значною кількістю захисних плівок (рис.3.35,в,є), а рівень відновлення найвищий 0,015...0,02 мкм/км (рис.3.36).

Виходячи з результатів хімічного аналізу, робоча поверхня характеризується наявністю міді у кількості 6,34 % (рис.3.37), що свідчить про наявність нанопорошку міді у складі ЗП за $S - N - S - N$ напрямку МП.

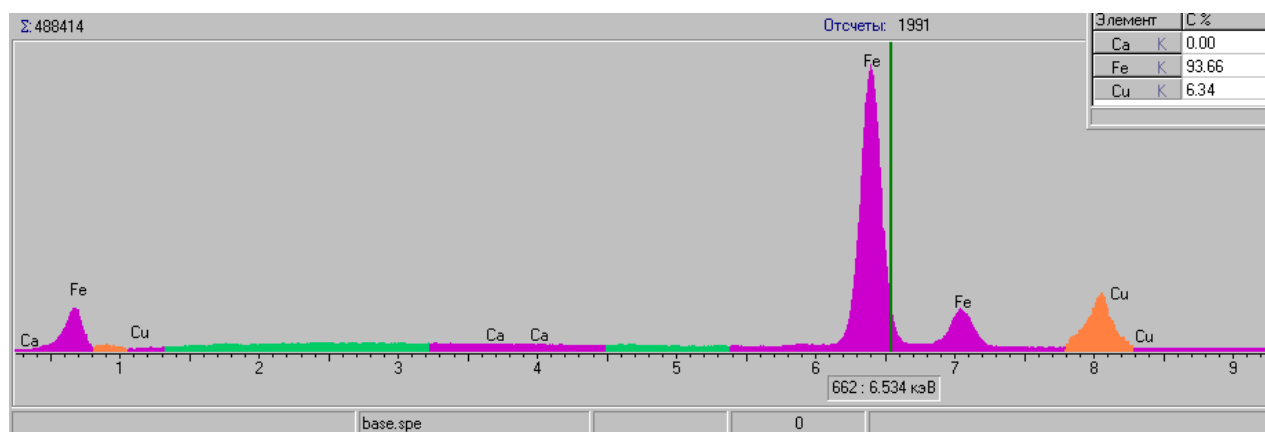


Рисунок 3.37. – Хімічний аналіз поверхні сталі 45 по контртілу ЛС59-1 в обробленому МП (0,3Тл) $S - N - S - N$ напрямку середовищі М10Г2к з додаванням модельного нанопорошку міді; поверхню тертя зображено на рис.3.35,в)

У разі $S - S - N - N$ напрямку МП робочі поверхні в середовищі мінеральної М10Г2к (рис.3.35,г) та синтетичної 5W40 (рис.3.35,ж) олив характеризуються наявністю малої кількості захисних плівок. Це зумовлюється тим, що діаманетик мідь не підкоряється напрямку МП, а отже, майже весь порошок міді знаходиться між магнітами, майже не потрапляючи до робочої зони. Відповідно кількість міді для створення захисних плівок дуже мала, що й пояснює незначну їх кількість на поверхні (рис.3.35,г,ж). Відновлення у цьому випадку має найвищу інтенсивність зношування, а саме 0,001...0,006 мкм/км (рис.3.36).

За умов відсутності впливу МП на робоче середовище діаманетик мідь як і феромагнетик та парамагнетик рівномірно розподіляється в оливі і потрапляє на поверхню, де бере участь у створенні захисних плівок. Поверхня в цьому випадку характеризується наявністю захисних плівок (рис.3.35,а,д), але, як і в попередніх випадках, а саме із модельним нанопорошком нікелем та оловом захисні плівки не є такими рівномірними, а відповідно і працездатними, як під дією МП. Інтенсивність зношування становить 0,01...0,016 мкм/км (рис.3.36).

Таким чином, із зниженням інтенсивності зношування робочої поверхні дією МП з використанням діаманетику міді інтенсивність припрацювання під дією МП з $S - N - S - N$ напрямком та величиною магнітної індукції 0,3 Тл становить 0,015...0,02 мкм/км (рис.3.36), а робоча поверхня характеризується наявністю великої кількості рівномірних захисних плівок, що мають високий рівень працездатності (рис.3.35,в,є).

Після проведення досліджень з додаванням модельних нанопорошків з різною магнітною природою (нікель, олово, мідь) визначено оптимальний вплив МП на кожен із взятих модельних нанопорошків для мінімальної інтенсивності зношування поверхні тертя (рис.3.38).

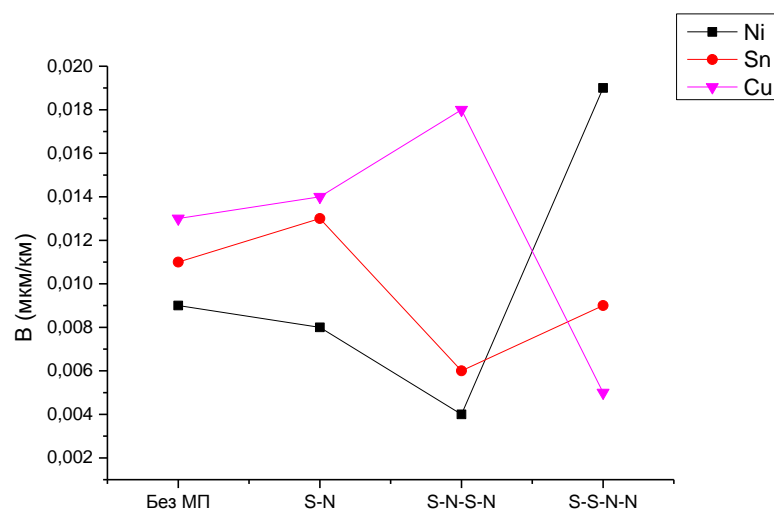


Рисунок 3.38. – Залежність інтенсивності зношування сталі 45 по діаманетику ЛС59-1 у середовищах М10Г2к і 5W40 з додаванням модельних нанопорошків феромагнетику нікелю, парамагнетику олова та діаманетику міді від напрямлення МП

Таким чином, на підставі результатів, представлених на рис.3.38, визначено:

– у разі використання феромагнетика нікелю у складі оливи найнищий рівень інтенсивності зношування робочої поверхні спостерігається при дії $S - S - N - N$ напрямку МП на робоче середовище і становить 0,009...0,019 мкм/км, що значно поліпшує ТС прецизійної пари;

– з використанням олова за $S - S - N - N$ напрямку МП рівень інтенсивності зношування становить 0,0075...0,011 мкм/км;

– для діамагнетика міді – 0,015...0,02 мкм/км при $S - N - S - N$ напрямку МП.

Отже, для кожного із використаних модельних нанопорошків спостерігаються свої оптимальні умови впливу МП (напрявленя МП, величина магнітної індукції), оскільки найнижчий рівень інтенсивності зношування зразків у всіх трьох випадках спостерігається під дією МП. Це зумовлюється тим, що МП підвищує заряд оливи на 11 %, підвищуючи при цьому рівень її розтікання на 37 %, кут змочування оптимізується на 81 %, а, отже, покращуються експлуатаційні властивості оливи та поліпшується ТС прецизійної пари.

Висновки до розділу III

Досягнуто підвищення ресурсу прецизійних пар дією МП на ММ і визначено, що інтенсивність зношування поверхонь знижується в 1,9 разу в порівнянні із рівнем інтенсивності зношування без впливу МП на ММ, це пояснюється тим, що енергетичний додаток МП в оливу становить 11,8%, (зростає рівень кінетичного розтікання оливи на 37%, оптимізується кут змочування – 87%, та підвищується її температура на 5%).

У ході проведення експериментів з'ясовано експлуатаційні параметри сталей в оброблених МП робочих середовищах, а саме найнижчий рівень інтенсивності зношування поверхні тертя спостерігається при $S - N - S - N$ напрямку МП при 0,3 Тл магнітної індукції і становить до $-0,003 \dots -0,004$ мкм/км за рахунок високого рівня кінетичного розтікання оливи до $9,5 \text{ мм}^2/\text{хв}$ та кута змочування $2,5^\circ$, що у свою чергу дозволяє покращити ТС прецизійної пари.

З'ясовано вплив ХАДО-присадок на зниження інтенсивності зношування під дією напрямленого постійного МП: ХАДО-присадки знижують коефіцієнт тертя і за рахунок цього значно продовжують термін експлуатації оливи; визначено, що при $N - S$ напрямку рівень зношування найнижчий і становить $-0,01$ мкм/км, що покращує ТС прецизійної пари. Порівняно з результатами зношування сталі 45 по склу в М10Г2к у МП $-0,005 \dots -0,007$ мкм/км з результатами отриманими з використанням присадки ХАДО у МП за тих же умов рівень зношування становить $-0,01$ мкм/км, що характеризується інтенсивною заміною захисних плівок в процесі напрацювання.

Установлено вплив МП на робоче середовище з наявністю у складі оливи модельних нанопорошків різної магнітної природи та його взаємозв'язок із робочими поверхнями механізму, що дає змогу керувати ресурсом АНТ. Визначено, що максимальний рівень відновлення робочої поверхні незалежно від магнітної природи використаного модельного нанопорошку спостерігається під дією МП; це пояснюється тим, що енергетичний внесок МП у оливу складає $0,21 \dots 0,38$ еВ.

Визначено умови покращення ТС робочих поверхонь. Слід відзначити, що магнітні властивості наявного під час тертя порошку та напрямлення силових ліній

МП відносно робочого середовища за певних умов значно покращує експлуатаційний стан робочого вузла тертя.

З'ясовано, що якщо на робоче середовище діє МП, то захисна плівка, яка утворюється на поверхні, рівномірніша, і, як показали дослідження, має вищий рівень працездатності, оскільки енергетичний заряд оливи становить 2,48 eV, тоді як без впливу МП – 1,98eV, кінетика розтікання оливи по поверхні під дією на оливу МП характеризується значенням $9,5 \text{ мм}^2/\text{хв.}$, тоді як без МП – $6 \text{ мм}^2/\text{хв.}$, а кут змочування $2,5^0$ на полюсі N та 13^0 без МП.

Визначено, що з використанням модельного нанопорошку феромагнетиту нікелю у складі оливи, інтенсивність зношування поверхні під дією МП на робоче середовище дорівнює $0,009 \dots 0,019 \text{ мкм/км}$ за $S - S - N - N$ напрямку МП.

З'ясовано, що у випадку із використанням модельного нанопорошку парамагнетика олова у склад оливи в умовах впливу МП на ММ при третій інтенсивності зношування становить $(0,0075 \dots 0,011) \text{ мкм/км}$ при $S - S - N - N$ напрямку МП.

Установлено, що в разі використанні модельного нанопорошку діамагнетиту міді шляхом впливу МП на оливу інтенсивність зношування становить $0,015 \dots 0,02 \text{ мкм/км}$ при $S - N - S - N$ напрямку МП.

РОЗДІЛ IV

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗМАЩУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА

4.1. Розроблення рекомендацій щодо застосування методу підвищення протизносних властивостей оливи магнітним полем у процесі експлуатації

Метою цього розділу є розроблення схеми модернізації системи змащення та визначення у зв'язку з цим зміни ресурсу ЕУ АНТ. Як дослідний зразок нами розглядалась система змащення ЕУ безводильного аеродромного тягача КТА-ТБ80В з установленим на ньому двигуном Cummins (рис.4.1).

Технологічно метод підвищення протизносних властивостей оливи МП являє собою малоопераційну безвідходну технологію. Використовуючи терміни та визначення, що застосовуються при технологічній обробці виробів, у процесі підвищення протизносних властивостей оливи дією МП, оброблюваним матеріалом є робоче середовище вузлів тертя, а оброблювальним інструментом – МП.

Оброблення матеріалів МП – це технологія з використанням висококонцентрованих джерел енергії. Ці технології багатоманітні, прогресивні, практичні і мають ряд притаманних тільки їм таких переваг:

– універсальність (для застосованого в процесі описаного підвищення протизносних властивостей оливи МП майже не існує обмежень щодо дії на ті чи інші оливи, які належать до ряду вуглеводневих);

– безперервність процесу підвищення протизносних властивостей оливи і можливість найбільш тонкого його регулювання та автоматизації;

– енергія поля та активні частинки, що беруть участь при цьому (молекули базової оливи, молекули поверхнево-активних речовин, частинки забруднень), безпосередньо діють на мастильні середовища. При цьому немає потреби у перетворенні магнітної енергії в теплову або механічну та й у використанні для цього складних апаратів.

Робочий інструмент – накладені МП у процесі підвищення (стабілізації) експлуатаційних властивостей оливи не зношуються, а отже не потребують заміни.

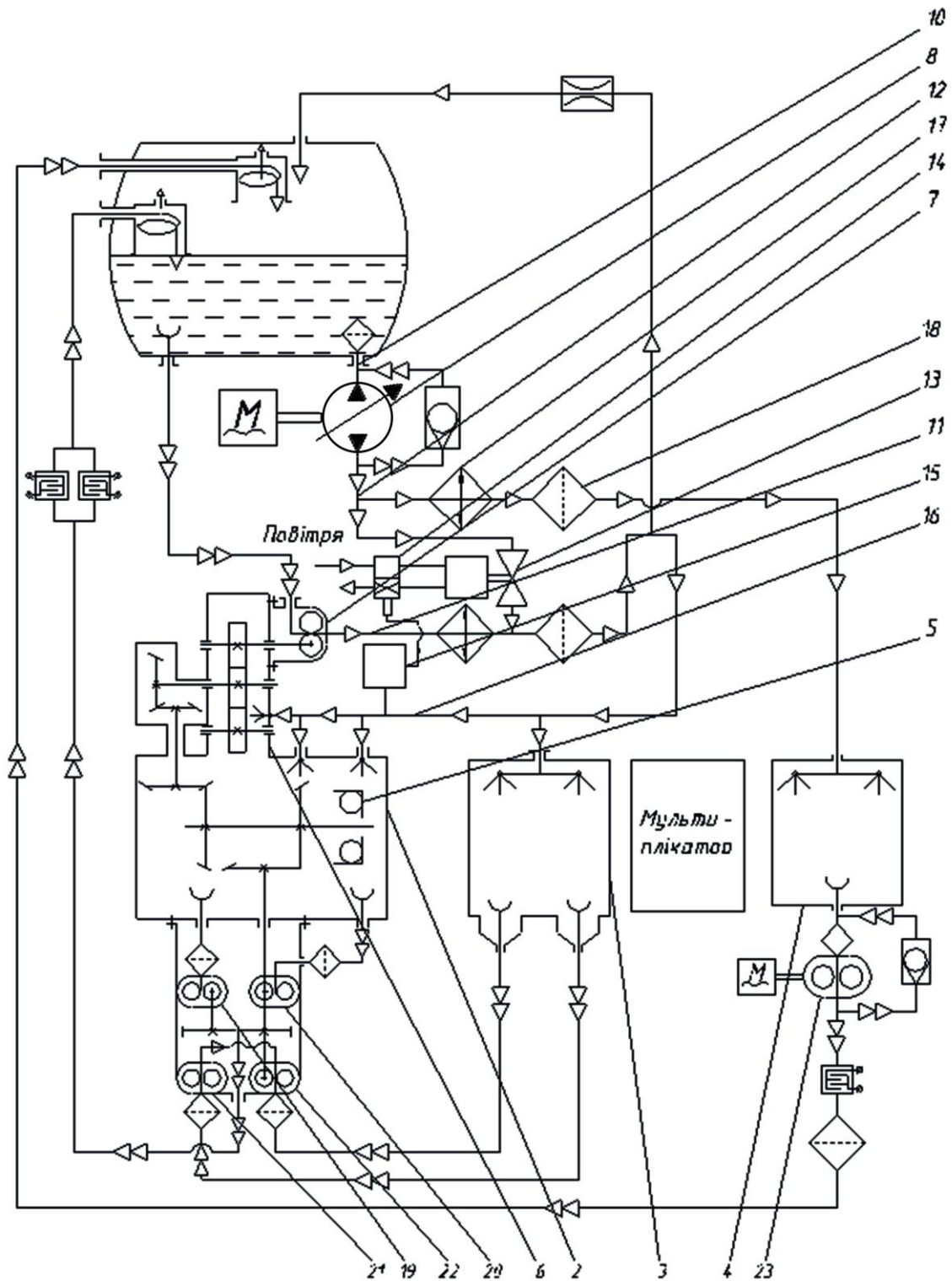


Рисунок – 4.1. Система змащення ЕУ АНТ: 1 – маслобак; 2 – масляна порожнина турбокомпресора; 3 – масляна порожнина двигуна; 4 – масляна порожнина приводу агрегатів; 5 – упорний підшипник; 6 – коробка приводів; 7 – нагнітальний насос; 8 – нагнітальний насос з електроприводом; 9, 10 – всмоктувальні магістралі; 11, 12, 16 – напірні магістралі; 13 – запірний клапан; 14 – електропневмоклапан; 15 – датчик тиску; 17 – теплообмінник; 18 – фільтр; 19, 20, 21, 22, 23 – відкачувальні насоси

Ці переваги визначають метод підвищення протизносних властивостей оливи з використанням енергії від зовнішніх та внутрішніх джерел економічно вигідним.

Метод підвищення протизносних властивостей оливи магнітним полем рекомендовано складається з двох операцій:

- підготовка пристрою для оброблення оливи МП та підготовка оброблюваного середовища;

- власне оброблення оливи накладеними МП.

Підготовка пристрою для обробки оливи МП:

- виконати візуальний огляд пристрою щодо пошкоджень ущільнювальних елементів;

- приєднати пристрій до мастильної системи так, щоб оброблюване середовище після виходу із пристрою потрапляло безпосередньо у нагнітальний насос. Другий такий самий пристрій може встановлюватись після нагнітального насосу. Після нього у якості трубопроводу використовуємо трубопровід (шланги) тільки з діелектричного матеріалу. Останню умову на досліджуваній спецтехніці виконати згідно з її конструктивними особливостями;

- приєднання до кінців електромагнітної котушки (зовнішньої обмотки пристрою) кінців високовольтного джерела струму. За допомогою регулятора напруги джерела струму встановити напругу $U = 2\ 000\ \text{В}$ та напруженість поля $E = 1,110^6\ \text{А/м}$. (Саме за таких параметрів отримано найкращі експериментальні дані щодо величини зношування та поверхневого натягу досліджуваних середовищ).

Підготовка оброблюваного мастильного середовища:

- перевірити оливу, що знаходиться у маслосистемі на наявність вільної води;
- перевірити оливу на наявність в ній частинок забруднень (при необхідності замінити оливу та фільтроелементи);

- перевірити рівень оливи в маслобаку.

Власне обробка оливи накладеними магнітними полями:

- упевнившись, що пристрій для оброблення оливи магнітним полем справний, до нього підключити джерело живлення, створити рух оброблюваного рідкого

середовища через пристрій. Бажана швидкість руху оброблюваної рідини становить 0,2...2,4 м/с;

– увімкнути джерело струму мінімум через 1...2 хв. Рекомендоване значення зовнішньої напруги, подаваної до пристрою, не повинна перевищувати 2,6 кВ (експериментально встановлено). За більших напруг підвищення ефекту не спостерігається;

– з метою дотримання правил техніки безпеки унеможливити контакт високовольтних кінців з металевими частинами (провідниками) для запобігання ураженню електричним струмом та іскроутворенню;

– після закінчення процесу оброблення оливи за описаним методом вимкнути джерело струму, у разі потреби від'єднати пристрій (наприклад, при довготривалому зберіганні). Під час монтажу пристрою у мастильній системі ЕУ АНТ, рекомендовано не від'єднувати його від цих систем у процесі експлуатації, а демонтувати пристрій лише у випадку появи течій через ущільнення для усунення неполадок.

Загальна суть роботи пристрою полягає в тому, що за рахунок руху по трубопроводу, фільтрах та іншому технологічному обладнанні олива електризується, тобто отримує природний заряд і надходить у проточну камеру. Отриманий заряд у результаті трибоелектризації підвищується під час проходження крізь фільтраційну сітку на вході та виході нагнітального насоса (відбувається значне підвищення значення заряду та його стабілізація по всьому об'єму поперечного перерізу). Сильно наелектризована олива зберігає заряд, потрапляючи в проточну камеру. Якщо обмотка живиться струмом від високовольтного джерела, у камері наводиться магнітне поле, силові лінії якого перетинають уже заряджену оливу. Унаслідок цього напруженість об'єднаного електричного поля і створює високу електризацію оливи, зумовлює високий ступінь стабілізації заряду і достатнє його вирівнювання по всьому об'єму оливи незалежно від її швидкості. Збереженню отриманого заряду до вузла тертя сприяє ізоляційне покриття на внутрішній поверхні вихідного трубопроводу.

Отже, запропонований метод підвищення протизносних властивостей олив магнітним полем доцільно застосовувати для підвищення протизносних властивостей олив, що використовуються у системах змащення ЕУ сучасних АНТ.

Конструктивно з метою збільшення ресурсу ЕУ, пропонується модернізувати систему змащення таким чином. Перед нагнітальним насосом необхідно встановити пристрій для оброблення оливи постійним магнітним полем. Конструктивну схему запропонованого пристрою показано на рис.4.2. Цей пристрій можна встановлювати безпосередньо на штуцерах нагнітального насоса або у найбільш зручних місцях трубопроводів, що підводять та відводять робочу рідину до нагнітального насоса.

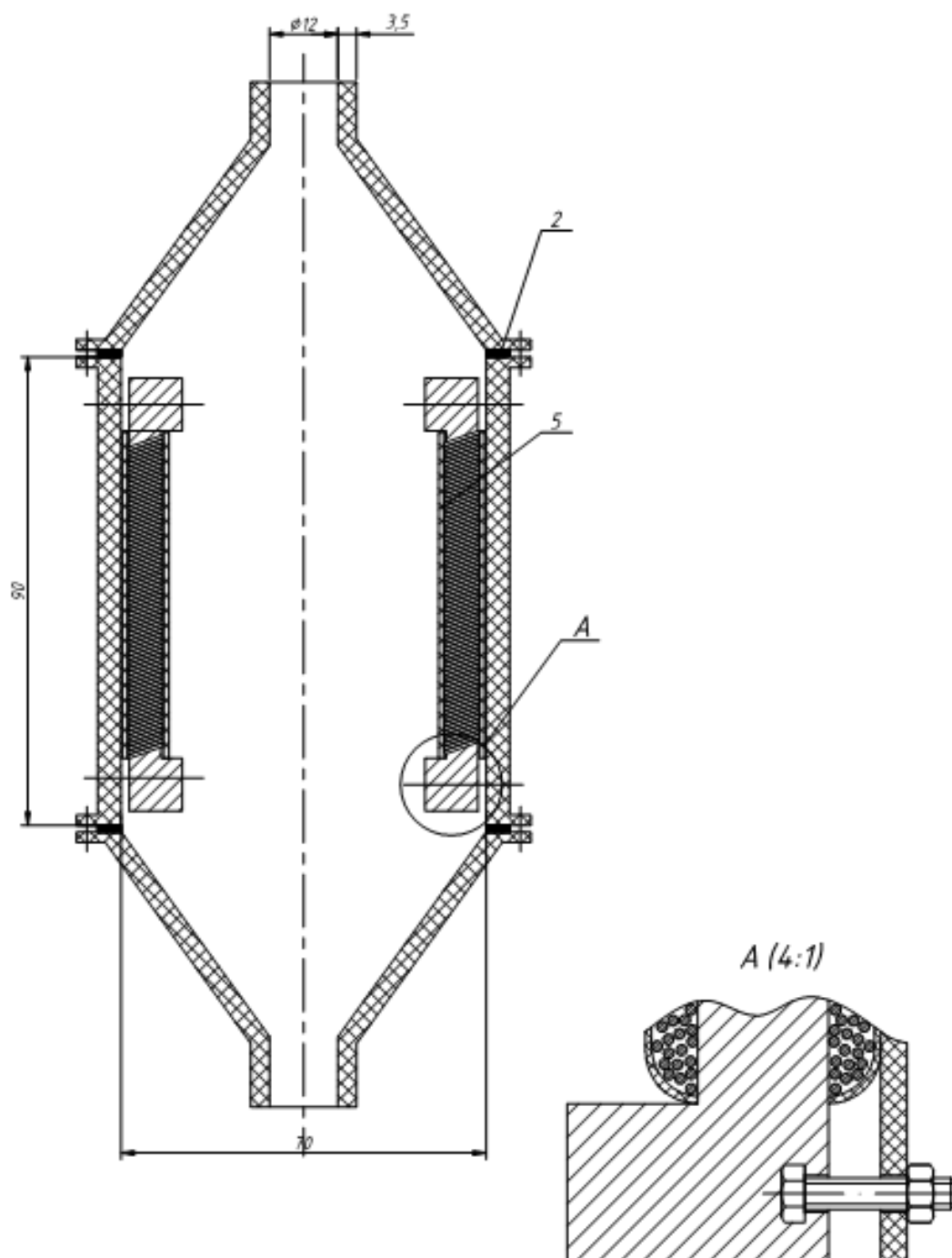


Рисунок 4.2. – Пристрій для оброблення оливи постійним МП

Конструктивно цей пристрій складається з корпусу, у якому встановлено два електромагніти один навпроти одного за схемою S – N – S – N. Олива, потрапляючи у цей пристрій, уповільнює швидкість у середньому до 0,5 м/с, що достатньо для того, щоб відбулась поляризація молекул оливи та присадки, якщо вона додається до оливи. Електромагніти живляться від бортової електромережі тягача. Живлення пристроїв здійснюється через автоматичне реле, яке вмикається відразу після ввімкнення електроживлення спецмашини.

Таким чином, проведення модернізації системи змащення ЕУ АНТ не потребує складних монтажних-демонтажних робіт і може бути виконана фахівцями середньої кваліфікації безпосередньо в експлуатаційному підприємстві. Вносити зміни у регламент роботи водія-оператора спецмашини при цьому не потрібно.

Технічний результат від модернізації системи змащення полягає у збільшенні ресурсу передусім нагнітального насоса, а також основних пар тертя ЕУ АНТ. Цей результат забезпечується за рахунок магнітного оброблення оливи, яка сприяє активізації адсорбційної активності полярно-активних молекул оливи відносно матеріалу поверхонь прецизійних пар тертя, що приводить до збільшення товщини та несучої здатності граничного змащувального шару і зниженню інтенсивності зношування.

4.2. Закономірності підвищення ресурсу прецизійної пари під дією магнітного поля на мастильний матеріал із вмістом нанопорошків з різною магнітною характеристикою

Відповідно до результатів, отриманих у працях [98, 99], базова інтенсивність зношування може бути оцінена за формулою:

$$\gamma_{\delta} = \gamma_0 \cdot k_{\Delta},$$

де γ_0 – умовна одиниця вимірювання інтенсивності зношування;

k_{Δ} – коефіцієнт інтенсивності зношування, що залежить від зазору.

Фактична поточна величина інтенсивності зношування змінюється під впливом комплексу факторів, тобто:

$$\gamma = \gamma_{\delta} \cdot k_T \cdot k_E,$$

де k_T – коефіцієнт, що враховує наявність присадок в оливі;

k_E – коефіцієнт, що враховує вплив МП.

Ресурс прецизійної пари качаючого вузла насоса вимірюється у моточасах роботи ЕУ АНТ, протягом якого сполучення здатне функціонувати до моменту досягнення ним граничної величини лінійного зносу.

Вхідними даними для розрахунку ресурсу пари «поршень-циліндр» АПН є:

- інтенсивність лінійного зношування γ , мкм/км;
- граничний лінійний знос U поверхонь тертя, мкм;
- номінальна частота обертання блока циліндрів АПН $n_{\text{ном}}$, об/хв;
- довжина ходу поршня h , мм.

Для проведених експериментів без впливу магнітного поля та без наявності в мастилі присадок інтенсивність лінійного зношування γ для пари ШХ15 по ЛС59-1 в М10Г2к дорівнює 0,014 мкм/км. Ресурс в цьому випадку можна визначити за формулою:

$$R = \frac{U}{120 \cdot n_{\text{м}} \cdot h \cdot 10^{-6} \cdot \gamma} = \frac{145}{120 \cdot 2740 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 0,014} = 3150 \text{ год.}$$

Цей ресурс лише на 5 % перебільшує ресурс, який встановлений для АПН нормативно-технічною документацією, тому результат дозволяє з високою достовірністю стверджувати, що результати, отримані під час експериментів, можна перенести і на реальний об'єкт дослідження – пару тертя «поршень-циліндр» АПН.

Вплив магнітного поля на базовий ресурс можна визначити за допомогою коефіцієнта, що розраховується за формулою:

$$k_{Ei} = \frac{\gamma}{\gamma_{Ei}},$$

де γ – інтенсивність лінійного зношування для експериментальної пари ШХ15 по ЛС59-1 в М10Г2к без впливу магнітного поля та присадок;

γ_{Ei} – інтенсивність лінійного зношування для тієї ж самої експериментальної пари ШХ15 по ЛС59-1 у М10Г2к згідно з конкретною (i -ю) схемою впливу МП.

Для схеми МП (S – N):

$$k_{S-N} = \frac{\gamma}{\gamma_{S-N}} = \frac{0,014}{0,0094} = 1,4894,$$

де γ_{S-N} – інтенсивність лінійного зношування для експериментальної пари ШХ15

по ЛС59-1 в М10Г2к відповідно схеми МП S – N.

Для схеми МП (S – N – S – N):

$$k_{S-N-S-N} = \frac{\gamma}{\gamma_{S-N-S-N}} = \frac{0,014}{0,002} = 6,5421 ,$$

де $\gamma_{S-N-S-N}$ – інтенсивність лінійного зношування для експериментальної пари ШХ15 по ЛС59-1 у М10Г2к згідно зі схемою МП S – N – S – N.

Для схеми МП (S – N – S – N):

$$k_{S-S-N-N} = \frac{\gamma}{\gamma_{S-S-N-N}} = \frac{0,014}{0,0189} = 0,7407 ,$$

де $\gamma_{S-S-N-N}$ – інтенсивність лінійного зношування для експериментальної пари ШХ15 по ЛС59-1 у М10Г2к згідно з схемою МП S – S – N – N.

Результати цих розрахунків показують, що максимальний вплив МП має за схеми S – N – S – N. Водночас з використанням схеми МП S – S – N – N спостерігаємо збільшення швидкості лінійного зносу і відповідно зменшення ресурсу пари тертя.

Результати експериментів у разі застосування різних типів присадок до оливи без впливу МП з різними схемами його утворення наведено у таблиці 4.1.

Інтенсивність зношування в цій таблиці подано зі знаком «+», оскільки у всіх експериментах було зареєстровано утворення захисної плівки на основі присадки та продуктів зношування, яка періодично руйнувалась і знову створювалась. Згідно з теорією, викладеною у працях [93, 94, 100] можна стверджувати, що коефіцієнт, який враховує вплив присадки та магнітного поля k_T у випадках, розглянутих у табл.4.1, можна прийняти у межах 1,4...2,2.

Найбільший ефект підвищення ресурсу ПП спостерігається на оливі у стані поставки, магнітне оброблення якої приводить до зниження інтенсивності зношування робочих поверхонь у 1,9 разу в порівняно з варіантом використання тієї ж оливи, але без магнітного оброблення. Зі збільшенням напрацювання оливи відзначений ефект дещо слабшає, проте і до закінчення терміну експлуатації оливи загальна закономірність зниження швидкості зношування зберігається. Ослаблення ефекту магнітного оброблення у міру збільшення напрацювання пояснюється деструкцією змащувального матеріалу, що знижує об'ємну концентрацію полярних молекул.

Таблиця 4.1. – Результати експериментів у разі застосування присадок та різних схем МП

Тип присадки	Схема МП	Інтенсивність зношування, γ_i , мкм/км
Ni	–	+0,0080
	S – N	+0,0050
	S – N – S – N	+0,0020
	S – S – N – N	+0,0090
Sn	–	+0,0070
	S – N	+0,0060
	S – N – S – N	+0,0050
	S – S – N – N	+0,0075
Cu	–	+0,0100
	S – N	+0,0110
	S – N – S – N	+0,0150
	S – S – N – N	+0,0010

Отже, унаслідок застосування магнітного оброблення оливи інтенсивність зно-

шування робочих поверхонь знижується у 1,9 разу, відповідно ресурс збільшується:

$$R = R_0 \cdot k_T \cdot k_E \cdot k_{\text{мод}},$$

де R_0 – базовий ресурс;

k_T – коефіцієнт, що враховує наявність присадок в оливі;

k_E – коефіцієнт, що враховує вплив МП;

$k_{\text{мод}}$ – модельний коефіцієнт, що враховує різницю роботи пари «поршень-циліндр» у експериментальній установці і за реальних умов [101, 102].

$$R = 3150 \cdot 1,0 \cdot 6,5 \cdot 0,2 = 4095 \text{ год.}$$

Таким чином, за умов впливу найбільш оптимального впливу МП на оливу, ресурс АПН підвищується на 15...20 % порівняно з ресурсом АПН, установленим нормативно-технічною документацією.

Висновки до розділу IV

Отже, з'ясовано, що модернізація системи змащення ЕУАНТ у процесі експлуатації МП не є високозатратною, може виконуватися безпосередньо на експлуатаційному підприємстві і при цьому не потребує змін у регламенті роботи водія-оператора спецмашини.

Технічний результат від модернізації системи змащення полягає у збільшенні ресурсу передусім нагнітального насоса, а також основних пар тертя ЕУ АНТ. Цей результат забезпечується магнітним обробленням оливи, яка сприяє активізації адсорбційної активності полярно-активних молекул оливи відносно матеріалу поверхонь прецизійних пар тертя, що приводить до збільшення товщини та несучої здатності граничного змащувального шару і зниженню інтенсивності зношування.

За умов використання магнітного оброблення оливи інтенсивність зношування прецизійних пар знижується. У ході досліджень з'ясовано, що максимальний ефект спостерігається при поставці оливи, а її магнітне оброблення знижує рівень зношування у 1,9 разу і підвищує ресурс на 15%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено важливе науково-практичне завдання – створено методи та засоби управління ресурсом ЕУ АНТ шляхом визначення характеру зміни експлуатаційних характеристик оливи під впливом постійного МП різної конфігурації.

У процесі вирішення цього завдання отримано такі результати:

1. У результаті проведеного аналізу існуючих методів управління ресурсом ЕУ АНТ визначено основні фактори, які істотно впливають на її надійність в умовах експлуатації в аеропорту. Зокрема, з'ясовано, що основною причиною, яка обмежує термін експлуатації вузлів та агрегатів системи змащення ЕУ АНТ, є низькі змащувальні властивості оливи у зоні тертя прецизійних пар, які широко використовуються в цих системах.

2. Установлено, що експлуатаційні характеристики оливи у зоні роботи прецизійних пар доцільно визначати на підставі модельних експериментів, адекватність яких до конкретних експлуатаційних умов досягається коригуванням її складових характеристик за допомогою поправкових коефіцієнтів. Для реалізації такої концепції розроблено алгоритми проведення експериментів для встановлення закономірності розподілу навантажень та особливостей мастильного режиму на робочих поверхнях прецизійних пар, що використовуються в ЕУ АНТ, залежно від умов їх експлуатації.

3. Досліджено закономірності зміни експлуатаційних властивостей оливи, що використовуються у сучасних ЕУ АНТ, у результаті яких встановлені основні фактори комплексного впливу основних фізичних факторів, які визначають швидкість зношування робочих поверхонь нагнітального насоса системи змащення ЕУ АНТ. Запропоновано методику і алгоритм розрахунків, які дозволяють визначати темпи зношування та ресурс прецизійних пар. Розроблено метод визначення залежності зміни технічного стану прецизійних пар «поршень-циліндр» нагнітального насоса системи змащення ЕУ АНТ від часу її напрацювання та параметрів магнітного оброблення оливи.

4. Розроблено метод визначення характеристик процесу зміни експлуатаційних властивостей оливи, що використовуються у системі змащення ЕУ АНТ. Зокрема, встановлено залежності зміни напрацювання до граничного стану прецизійної пари «поршень-циліндр» нагнітального насоса системи змащення ЕУ АНТ залежно від технології оброблення оливи МП та наявності в оливі різних типів присадок. Визначено кількісну характеристику процесу природної втрати оливою частини своєї мастильної властивості за час роботи у системі змащення ЕУ АНТ та встановлено аналітичну залежність зростання зносу прецизійних пар при цьому. Уперше встановлено залежності між енергетичним зарядом оливи та зносом робочих поверхонь прецизійної пари. Доведено, що методом уповільнення згаданого процесу є магнітне оброблення оливи, унаслідок чого:

- зростає адсорбційний потенціал оливи відносно поверхонь пари тертя: залежно від часу оброблення оливи коефіцієнт її змочування збільшується у 1,5...2,6 разу;
- зменшується швидкість зношування прецизійної пари тертя: величина зменшення залежить від ступеня напрацювання оливи та напрямку впливу МП і коливається у межах 1,4...1,9 разу.

5. Удосконалено метод визначення ресурсу нагнітального насоса системи змащення ЕУ АНТ, відповідно до якого основним фактором впливу на інтенсивність зношування у процесі експлуатації розглядається поточний стан мастильної властивості оливи. Підвищення мастильної властивості залежить від тривалості експлуатації та структурного стану оливи.

6. Обґрунтовано технологію модернізації системи змащення ЕУ безводильного аеродромного тягача КТА-ТБ80В шляхом монтажу в існуючу конструкцію системи змащування пристрою для оброблення оливи постійним МП. Така модернізація системи змащення збільшує ресурс ЕУ, в процесі експлуатації на 15 %, оскільки знос прецизійних пар знижується неменше ніж в 1,9 разу.

7. Результати роботи взяті до використання у ВАТ «ТЕМП» (м. Хмельницький та впроваджені в навчальний процес кафедри Технологій аеропортів Національного авіаційного університету при підготовці фахівців у галузі технічної експлуатації АНТ та обладнання аеропортів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Norman J. Airport engineering : planning, design, and development of 21st century airports [Text] / Norman J. Ashford, S. Mumayiz, Paul H. Wright.– 4th ed. – 2011. – 753 p.
2. Aircraft ground support equipment – General requirements – Part 2: Stability and strength requirements, calculations and test methods. – CEN: 2009, – 30 p.
3. Dovgal A. G. Reliability of Aircraft Ground Support Equipment and Airport Equipment: Guide to Laboratory Practical Works [Text] / A. G. Dovgal, L. V. Kurbet, Ye. V. Kharchenko, – К.: NAU, 2013 – 32 p.
4. Кравець І.А. Безсервісні трибосистеми [Текст] / І.А. Кравець // Збірник наукових праць НЦ ВПС.- К.: 2002.- С.25-32.
5. Запорожец В.В. Сравнительная эффективность смазочного действия различных трансмиссионных масел [Текст] / В.В. Запорожец // Авиационно-космическая техника. – Вып.9, К.: 2000. – С. 473-477.
6. Свирид М.М. Енергетична концепція стабілізації стану трибосистем [Текст] / М.М. Свирид, І.А. Кравець, С.М. Занько, В.Г. Паращанов, Л.Б. Приймак // Проблеми трибології. – 2008. – №4 (50). – С. 13-18.
7. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин [Текст] / А.Г. Суслов. – М.; Машиностроение, 2000. – 318 с.
8. Веренич И.А. Реологические характеристики рабочих жидкостей и смазок на основе растительных масел [Текст] / И.А. Веренич // Вестн. нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт». – Вып. 129. Технология в машиностроении. – Х.: - 2001. – С. 365-374.9.
9. Беркович И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: Учебник для вузов [Текст] / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский; Под ред. Д.Г. Громаковского; Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2000. – 268 с.
10. 25. Авіа-2011: X міжнародна науково-технічної конференція, 19-21 квітня 2011 р.: Свирид М.М., Приймак Л.Б., Якобчук О.Є., Бородій В.М., Чехівський В.Е. Вплив модульного електричного сигналу на трибологічні параметри поверхні. – К.: Вид-во Нац. Авіац. Ун-ту «НАУ-друк», 2011 – Т. II. – С. 12.52-12.55.

11. Макаренко А.С. Влияние электромагнитного поля, проходящего через зону фрикционного контакта, на износ при высокоскоростном трении [Текст] / А.С. Макаренко, В.Д. Евдокимов // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. Одесса: Диол-Принт, 2005. – № 1. – С. 77–84.

12. Евдокимов В.Д. Влияние магнитного поля на избирательный перенос при трении [Текст] / В.Д. Евдокимов, А.С. Макаренко // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – Одесса: Диол-Принт, 2006. – № 4. – С. 70–78.

13. Давыдов С.В. Эффективность магнитно-импульсной обработки [Текст] / С.В. Давыдов // Вестник Брянского госуд.техн.ун-та. – 2007. – №3(15). – С.8-9.

14. Макаренко А.С. Влияние реверсивности трения и магнитного поля на износ пар трения качения [Текст] / А.С. Макаренко, В.Д. Евдокимов // Проблемы трибологии. – 2006. – №2. – С.115-119.

15. Евдокимов В.Д. Повышение износостойкости деталей машин фрикционно-магнитным методом [Текст] / Евдокимов В.Д., Кошарская Л.В. – Одесса: «Диол Принт», 2005. – 200 с.

16. Chikazumi S Physics of magnetism.[Text] / S. Chikazumi, O. Wiley // New York.– 1964.– Vol. – 564 p.

17. Muju M.K. A model of adhesive wear in the presence of a magnetic field [Text] / M.K. Muju, A. Ghosh // Wear, 1977. – p. 103–116.

18. Mansori El Surface modifications of a non-ferromagnetic copper/ferromagnetic steel XC48 couple in magnetized sliding contact [Text] / El Mansori, M., Zaidi, H., Kardiri, K.E., Paulmier, D // Surf. Coat. Technol., 1996. – p. 511–515.

19. Свирид М.Н. Влияние энергетического импульса на условия трибоэлектрохимического восстановления [Текст] / М.Н. Свирид, И.А. Кравець, Г.А. Волосович, В.Н. Бородий, Л.Б. Приймак // Проблемы тертя та зношування: зб. наук. праць. – К.: НАУ «друк», 2010. – Вип.54.– С.135-143.

20. Kumagai K. Effects of magnetization on wear [Text] / K. Kumagai, O. Kamiya // Tribol. Trans. 1997. – p. 621–626.

21. Гаркунов Д.Н. Восстановление двигателей внутреннего сгорания без их разборки [Текст] / Д.Н. Гаркунов, В.И. Балабанов // Тяжелое машиностроение. – М., 2000.

– № 2. – С. 18-23.

22. Соколов А.И., Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла: Учебное пособие. [Текст] / А.И. Соколов, П.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томск, ун-та, 1991. – 200 с.

23. Сафонов В.В. Повышение долговечности мобильных сельскохозяйственных машин путем улучшения процесса обкатки дизелей и применения металлосодержащих смазочных композиций в условиях эксплуатации: автореф. дис. на д-ра техн. наук: спец. 05.20.03. [Текст] / В.В. Сафонов. – Саратов, 1999. – 51 с.

24. Мельников В.Г. Трибологические и коллоидно-химические аспекты действия фторорганических модификаторов трения в моторных маслах [Текст] / Мельников В.Г. // Химия и технология топлив и масел. – 1997. – №5. – С. 34-37.

25. Петриченко Р.М. Трение и теплопередача в поршневых кольцах двигателей внутреннего сгорания: Справочное пособие [Текст] / Р.М. Петриченко, М.Р. Петриченко, А.Б. Канищев и др.; Под ред. Р.М. Петриченко. – Л.: ЛГУ, 1990. – 248 с.

26. Аметов В.А. Исследование влияния физико-химических воздействий на триботехнические свойства смазочных масел [Текст] / В.А. Аметов, Е.П. Спиринов, П.С. Елугачева // Сб. науч. тр. Лесотехн. ин-та / ТГАСУ, Лесотехн. ин-т. – Томск. – 2003. – Вып. 2. – С. 61-64.

27. Путинцев С.В. Механические потери в поршневых двигателях [Текст] / С.В. Путинцев // Электронное учебное издание. Учебное пособие по дисциплине "Специальные главы конструирования и САПР" – М.: МГТУ им Н.Э.Баумана, 2011 – 288с.

28. Изюмский В.А. Повышение межремонтного ресурса двигателей мобильной сельскохозяйственной техники электрохимико-механической приработкой цилиндропоршневой группы: дисс. ... кандидата тех. наук: 05.05.11 [Текст] / Изюмский В.А. – Луганск, 2004. – 279с.

29. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность) [Текст] / Д.Н. Гаркунов. – М.: МСХА, 2001. – 614 с.

30. Шевеля И.В. Влияние магнитомеханического гистерезиса на триботехнические свойства ферромагнитных материалов [Текст] / И. В. Шевеля, В. П. Александренко, В. В. Шевеля // Вісник ТУП. – 2002. – № 6. – С. 88-90.

31. Гладкий Я.Н. Взаимосвязь трибологических характеристик материалов с физико-химическими процессами в зоне трения [Текст] / Я.Н. Гладкий, С.С. Бысь // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2001. – №4. – С. 203 – 210.

32. Хебды М. А. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения : справочник по триботехнике: в 3 т. [Текст] / под общ. ред. М. А. Хебды, А. В. Чичииадзе. – М.: Машиностроение, – Т. 1: Теоретические основы. – 1990. – 416 с.

33. Суслов А.Г. Качество машин : справочник в 2 т. [Текст] / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. – М.: Машиностроение, – Т. 1. – 1995. – 256 с.

34. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей: учеб. для студ. вузов [Текст] / А.Г. Суслов. – МЛ: Машиностроение, 1997. – 208 с.

35. Диха О. Розрахунково-експериментальне дослідження трибологічних властивостей мастильних матеріалів [Текст] / Диха О., Кузьменко А., Мокрицький В. – Машинознавство. – 2001. – №7. – С.29 – 32.

36. Третьяков И.Г. Влияние электромагнитной обработки на противоизносные свойства индивидуальных углеводородных соединений. Вопросы авиационной химмотологии [Текст] / И.Г. Третьяков, Ю.И. Короленко // Межвуз. сб., ВЫП.2. Киев, 1978. – С.141-144.

37. Шульман З.П. Магнитореологический эффект [Текст] / З.П. Шульман, В.И. Кордонский Минск: Наука и техника, 1982. – 184с.

38. Лисіков Є.М. Підвищення ресурсу трибосполучень технічних систем шляхом впливу електростатичного поля на мастильні матеріали [Текст] / Є.М. Лисіков // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті: Зб. наук. праць. Вип.58. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – С.5-10.

39. Болотов А.Н. Триботехника магнитопассивных опор скольжения: монография [Текст] / А.Н. Болотов, В.Л. Хренов. Тверь: ТГТУ, 2008. – 124с.

40. Путинцев С.В. Результаты триботехнических испытаний смазочных композиций для ДВС [Текст] / С.В. Путинцев, Р.А. Галата, В.И. Беклемышев // Известия вузов. Машиностроение. – 2000. – №3. – С. 51-56.

41. Salimov R. Research of methods to increase the hydraulic system aggregates re-

source of aviation ground equipment [Text] / R. Salimov, L. Pryimak // Наукоємні технології. – 2014. – №3(23). – С. 315-319.

42. Борсуцкий З.Р. Исследования механизма магнитной обработки нефти на основе результатов лабораторных и промышленных испытаний [Текст] / З.Р. Борсуцкий, С.Е. Ильясова // Нефтепромышленное дело – 2002.– № 8. – С. 28-37.

43. Ширяева Р.Н. Регулирование реологических свойств парафинистой нефти высокочастотным электромагнитным полем [Текст] / Р.Н. Ширяева, Ф.Л. Саяхов, Ф.Х. Кудашева, Л.А. Ковалева, Р.Н. Гимаев // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – № 6. – С. 20-21.

44. Пивоварова Н.А. Влияние постоянного магнитного поля на парамагнитную активность нефтяных систем [Текст] / Н.А. Пивоварова, Ф.Г. Унгер, Б.И. Туманян // Химия и технология топлив и масел. – 2002.– № 6.– С. 30-32.

45. Проников А.С. Надежность машин [Текст] / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.

46. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник [Текст] / В 2-х кн. Кн.1 / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.

47. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник [Текст] / В 2-х кн. Кн.2 / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.

48. Чичинадзе А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст] / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

49. Фролов К.В. Современная трибология. Итоги и перспективы [Текст] /отв. ред. К.В. Фролов. – М.: Изд. ЛКИ, 2008. – 480 с.

50. Костецкий Б.И. Надежность и долговечность машин [Текст] / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский, А.К. Караулов. – К.: Техніка, 1975. – 408 с.

51. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

52. Боуден Ф.П. Трение и смазка твердых тел [Текст] / Ф.П.Боуден, Д.Т.Тейбор. – М.: Машгиз. – 1960. – 151 с.

53. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных [Текст] / Дж. Бендат, А.Пирсол. – М.: Мир. – 1989. – 540 с.

54. Свирид М.М., Кудрін А.П., Кравець І.А., Приймак Л.Б., Якобчук В.М. Пристрій для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі // Пат. № 81368 Україна, А61В 5/05; Заявка u2013 00894, 25.01.2013; Опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12. – 4 с.

55. Свирид М.М., Кравець І.А., Кравець І.А., Луб'яний В.В., Приймак Л.Б., Паращанов В.Г. Спосіб оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі // Пат. Україна, № 81368, А61В 5/05; Заявка u2013 00895, 25.01.2013; Опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12. – 4 с.

56. Дмитриченко М.Ф. Смазочное действие смазок и водно-гликолевых жидкостей в условиях сильной смазки и масляного голодания локального контакта трения [Текст] / М.Ф. Дмитриченко // дисертація на здобуття доктора технічних наук К.: НАУ. – 1991. – 386 с.

57. Свирид М.М., Занько С.М., Задніпровська С.М., Паращанов В.Г., Приймак Л.Б. Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування // Пат. № 36600 Україна, G01N 3/56; Заявка u200809663, 23.07.2008; Опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20. – 3 с.

58. Свирид М.М., Кудрін А.П., Кравець І.А., Приймак Л.Б., Бородій В.М. Пристрій для дослідження поверхонь тертя в постійному рівномірному та нерівномірному магнітному полі // Пат. № 70877 Україна, G01N 3/56; Заявка u201115161, 21.12.2011; Опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12 – 5 с.

59. Свирид М.М., Кудрін А.П., Кравець І.А., Приймак Л.Б., Бородій В.М. Спосіб відновлення поверхні тертя постійним рівномірним та нерівномірним магнітним полем // Пат. № 70878 Україна, G01N 3/56 F16S33/14; Заявка u201115162, 21.12.2011; Опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12. – 5 с.

60. Гайданин А.Н. Применение средств ЭВМ при обработке активного эксперимента. [Текст] / А.Н. Гайданин, С.А. Ефремов // Методические указания. – ВолгГТУ.

– 2008. – 16 с.

61. Свирид М.М. Вплив магнітного поля на моніторинг перетворень топографії поверхонь під час тертя без змащування [Текст] / М.М. Свирид, С.М. Занько, Л.С. Братиця, Л.Б. Приймак, О.Л. Шевченко // Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник. – К.: НАУ, 2008. – Вип.49.Том1.– С.44-51.

62. Свирид М.Н., Кравець И.А., Волосович Г.А., Заднепровская С.Н., Приймак Л.Б. Исследование трибологических характеристик конструкционных сталей в среде полиэтиленгликоля под действием магнитного поля // Проблеми трибології. – 2010. – №2 (56). – С. 25-29.

63. Свирид М.М. Мониторинг трибологических характеристик в полиэтиленгликоле [Текст] / М.М. Свирид, В.Г. Паращанов, Л.Б. Приймак, О.Л. Шевченко // Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник. – К.: НАУ, 2007. – Вип.48.– С.111-117.

64. Игнатович С.Р. Методика исследования физико-механических свойств поверхностных слоев материалов при усталости с использованием многофункционального прибора «Микрограмма». [Текст] / Игнатович С.Р., Закиев И.М., Борисов Д.И., Закиев В.И. // Авиац.-косм. Техника и технология: – Х.: ХАИ. – Вып.8(16). – 2004. – С.103-166.

65. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента: Пер. с англ. [Текст] / Джонсон Н., Лион Ф. – М.: Мир. – 1981. – 520 с.

66. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента: Пер. с англ. [Текст] / Шенк Х. – М.: Мир. – 1972. – 381 с.

67. Барабашук В.И. Планирование эксперимента в технике [Текст] / В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко; Под ред. Б.П. Креденцера. – К.: Техника. – 1984. – 200 с.

68. Бродский В.З. Введение в факторное планирование эксперимента [Текст] / Бродский В.З. // М.: Наука. – 1976. – 223 с.

69. Степанов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний [Текст] / Степанов М.Н. // Машиностроение. – 1985. – 232 с.

70. Боум А. Квантовая механика: основы и приложения [Текст] / Боум А. // М.:

Мир. – 1990. – 720 с.

71. Авіа-2013: XI міжнародна науково-технічної конференція, 21-23 травня 2013 р.: Свирид М.М., Волосович Г.А., Приймак Л.Б., Вплив магнітного поля на енергетичний стан оливи. – К.: Вид-во Нац. Авіац. Ун-ту «НАУ-друк», 2013 – Т. III. – С. 15.13-15.17

72. Thomas J Bruno. Handbook of Fundamental Spectroscopic Correlation Charts [Text] / Thomas J. Bruno, Paris D. N. Svoronos // CRC Press. – 2005. – 240p.

73. Свирид М.Н. Энергетические аспекты взаимодействия масла с магнитным полем [Текст] / М.Н. Свирид, Л.Б. Приймак, И.Л. Трофимов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2013. – №7. – С. 24-29.

74. Данилов А.М. Введение в химмотологию [Текст] / Данилов А.М // Техника. – 2003. – 464с.

75. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах [Текст] / Костецкий Б.И. // Техника. – 1970. – 396с.

76. Мышкин Н.С. Трибология в работах В.А. Белого [Текст] / Мышкин Н.С., Петроковец М.И., Плескачевский Ю.М. // Трение и износ. – 2002 (23). – №3. – С. 236-246.

77. Карцев В. П. Магнит за три тысячелетия [Текст] / В. П. Карцев // Атомиздат. – 1972. – 160 с.

78. Каганов М.И. Природа магнетизма [Текст] / Каганов М.И, Цукерник В.М. – 1982. – 192с.

79. Бойченко С.В. Моторні палива і масла для сучасної техніки [Текст] / Бойченко С.В., Иванов С.В., Бурлака В.Г. // Монографія: НАУ. – 2005. – 216с.

80. Свирид М.Н., Е. Вайс, Приймак Л.Б., Бородий В.Н., Якобчук А.Е. Повышение эксплуатационных параметров прецизионных пар трения в магнитном поле [Текст] / М.Н.Свирид, Е. Вайс, Л.Б.Приймак, В.Н. Бородий, А.Е. Якобчук // Порошковая металлургия. – 2013. – № 7/8. – С. 68-76.

81. Приймак Л.Б. Методика дослідження властивостей мастил в магнітному полі [Текст] / Л.Б. Приймак // Проблеми трибології. – 2010. – №4. – С. 122-125.

82. Балденко А.А. Повышение износостойкости металлических пар в моторных маслах трибомодификацией поверхностей трения [Текст] / Балденко А.А, Пичугин

В.Ф, Лаптева В.Г. // Трибология – Машиностроение, Том 10. – 2008. – №3, – С.27-32.

83. Свирид М.Н. Трибологические параметры сталей в обработанных магнитным полем смазывающих материалах [Текст] / М.Н. Свирид, А.П. Кудрин, Л.Б. Приймак // Проблеми трибології. – 2012. – №1. – С. 22-24.

84. Свирид М.М. Трибологічні характеристики пар тертя у робочих середовищах оброблених магнітним полем [Текст] / М.М. Свирид, Л.Б. Приймак, С.О. Грищенко, А.Ф. Коломієць, А.О. Плотніков // Проблеми трибології. – 2013. – №1. – С. 70-73.

85. ПОЛІТ-2012 Modern Aviation Technologies: XII міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених, 4-5 квітня 2012р.: Приймак Л.Б. Steel 2 wearproofness in treated by the magnetic field lubricating environments. – К.: 2012. – С.121.

86. Проблеми хімотології: IV міжнародна науково-технічна конференція, 24-28 вересня 2012р.: Свирид М.М., Кудрін А.П., Приймак Л.Б., Бородій В.М. Зміна стану трибосистеми в мастилі, обробленому магнітним полем. – К.: 2012. – С.379-382.

87. IV Letnia Szkola Inzenerii Powierzchni: міжнародна науково-технічна конференція, 7 жовтня 2010р.: Wais E., Svirid M.N., Pryimak L.B. Research of steel-brass friction pair tribological characteristics in magnetic field. – Польща.: 2010. – С. 113-121.

88. Инструмент и технологи: 2004 г.: Петров В.М., Васильев А.С. и др. Исследование структурных изменений поверхностных слоев стальных образцов под действием геомодификаторов трения. – Санкт-Петербург.: 2004. – №11-12 – С.185 -192.

89. Инструмент и технологи.: 2009г.: Шабалинская Л.А., Лунин Н.П., Левкин Г.М., Зайцев С.Д. Апробация технологии антифрикционной обработки узлов трения транспортной техники . – Санкт-Петербург.: 2009. – №5 – С.132 -135.

90. Аратский П.Б. Сравнительные исследования влияния присадок к смазочным маслам на показатели трения и износ узлов ДВС [Текст] / Аратский П.Б // Двигателестроение. – 1999. – №2 – С. 30-31.

91. Белый В.А. Трибология. [Текст] / К. Лудем, Н.К. Мышкин // Исследования и предложения: Опыт США и стран СНГ. – М.: 1993. – 175с.

92. Белый А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев [Текст] / Белый А.В., Карпенко Г.Д., Мышкин К.Н. // Машиностроение. – 1991. – С. 45.

93. Aviation in the XXI-st Century, Safety In Aviation And Space Technologies: V world congress, September 25-27, 2012.: Kudrin A.P., Svirid M.N., Pryimak L.B. Renewal tribomagnetic mechanism with paramagnetic modifier using. – K.: 2012. – P.1.4.1.-1.4.4.

94. Свирид М.М. Механізм відновлення поверхні тертя дією магнітного поля на робоче середовище модифіковане діаманетиком [Текст] / М.М. Свирид, І.Л. Трофімов, Л.Б. Приймак, В.Г. Парашанов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №4/5 (064). – С. 24-27.

95. Свирид М.Н. Использование ХАДО-присадок при трибомагнитном восстановлении [Текст] / М.Н. Свирид, А.П. Кудрин, Л.Б. Приймак // Вісник Хмельницького Національного Університету. – 2011. – №6 – С. 122-125.

96. Sviryd M. Friction surface renewal by magnetic field impact on diamagnetic modified in diamagnetic working environment [Text] / M. Sviryd, L. Pryimak, I. Trofimov // Politechnika rzeszowska. – monografia. – Systems and means of motor transport, 2014. – №5 – С. 121-126.

97. Свирид М.М. Умови утворення сервовитної плівки під дією магнітного поля [Текст] / М.М. Свирид, І.А. Кравець, Г.А. Волосович, Л.Б. Приймак, С.М. Занько // Машинознавство. – 2010. – №8 (158). – С. 28-34.

98. Подгорков В.В. Несущая способность магнитных жидкостей [Текст] / В.В. Подгорков // Трение и износ. – 1990. – Т11. – №2. – С.359-361.

99. Бронштейн М.Л. Термическая обработка стальных изделий в магнитном поле [Текст] / Бронштейн М.Л., Пустовойт В.Н. // Машиностроение. – 1987. – 226 с.

100. Шульман З.П. Магнитореологический эффект. [Текст] / Шульман З.П., Кордонский В.И.. // Проблемы тепло- и массообмена. – 1977. – С. 60-61.

101. Zhao C. Wear Testing of Principal Friction Pairs in Axial Piston Pump Based on Taguchi Design Method [Text] / Zhao C, H. Jiang, . Ke C // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – P. 26-34.

102. Nesbitt B. Handbook of Pumps and Pumping [Text] / Nesbitt B. // Pumping Manual International. – 2006. – 470 p.

ДОДАТКИ

Міністерство
промислової політики України
ХМЕЛЬНИЦЬКЕ ВАТ
"ТЕМП"
29015, Україна, м. Хмельницький,
пр-т Миру, 99/101,
тел./факс (03822) 3-00-27, 3-14-18
E-mail: nvk_sto@temp.km.ua
http://www.temp.km.ua

Министерство
промышленной политики Украины
ХМЕЛЬНИЦКОЕ ОАО
"ТЕМП"
29015, Украина, г. Хмельницкий,
пр-т Мира, 99/101,
тел./факс (03822) 3-00-27, 3-14-18
E-mail: nvk_sto@temp.km.ua
http://www.temp.km.ua

р/р 26009880110221 у Хмельницькій обласній філії Укрсоцбанку
м. Хмельницький МФО 315018 код 14309942

АКТ

прийняття до впровадження результатів науково-технічної розробки

Назва науково-технічної розробки: " Підвищення зносостійкості і ресурсу деталей, що працюють в змащувальних середовищах, оброблених магнітним полем"

Автори розробки: Свирид М. М., Приймак Л. Б., Національний авіаційний університет

Опис розробки: Результати наукових досліджень, які базуються на використанні методики відновлення поверхонь тертя за допомогою впливу магнітного поля на змащувальне середовище за безрозбірними технологіями при зношуванні поверхонь тертя прецизійних пар.

Висновок. Методика відновлення поверхонь тертя за допомогою впливу магнітного поля на змащувальне середовище за безрозбірними технологіями дасть змогу подовжити експлуатаційні параметри прецизійних пар. Результати розробки після відповідної конструкторської та технологічної підготовки виробництва будуть впроваджені у виробництво на ВАТ "ТЕМП" на безоплатній основі.

Голова правління:  Ф.М. Праворський



"ПОГОДЖЕНО"

Проректор з навчальної роботи НАУ

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор з наукової роботи НАУ

 А.В. Полухін В.П. Харченко

" 22 " 10 2014 р.

" 10 " 2014 р.

**АКТ**

про впровадження у навчально-виховний процес
Національного авіаційного університету

результатів дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 "Експлуатація та ремонт засобів транспорту" Приймак Людмили Борисівни

Комісія у складі:

голова комісії	С.О.Дмитрієв	д.т.н., професор, заступник директора Аерокосмічного інституту з наукової роботи
	В.П.Захарченко	професор кафедри АЕМ
	О.В.Тісов	асистент кафедри машинознавства
	О.Р.Давідов	ст.н.с. кафедри АДІБП
	С.І.Йовенко	доцент кафедри АД
	В.Є.Зімін	доцент кафедри ЗЛПАТ
	Г.М.Борозинець	доцент кафедри машинознавства
	В.М.Бадах	доцент кафедри ГГС

яка діє на підставі розпорядження директора Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету від "16" жовтня 2014 р. №18, засвідчує, що результати дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 "Експлуатація та ремонт засобів транспорту" впроваджені у навчальний процес кафедри технологій аеропортів:

- шляхом використання у курсі лекцій з дисципліни "Експлуатація авіаційної наземної техніки та технологічного обладнання аеропорту";
- у дипломних роботах магістрів за спеціальністю "Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів".

Голова комісії



С.О.Дмитрієв

Секретар комісії



О.В.Тісов

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 36600

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ НА ТЕРТЯ
ТА ЗНОШУВАННЯ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
27.10.2008.

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

М.В. Паладій





УКРАЇНА

 (19) UA (11) 36600 (13) U
 (51) МПК (2006)
 G01N 3/56

 МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
 І НАУКИ УКРАЇНИ

 ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ

**ОПИС
 ДО ПАТЕНТУ
 НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

 видається під
 відповідальність
 власника
 патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ НА ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

1

(21) u200809663
 (22) 23.07.2008
 (24) 27.10.2008
 (46) 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.
 (72) СВИРИД МИХАЙЛО МИКОЛАЙОВИЧ, UA,
 ПАРАЩАНОВ ВЯЧЕСЛАВ ГЕОРГІЙОВИЧ, UA,
 ЗАНЬКО СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, UA, ЗАДНІП-
 РОВСЬКА СВІТЛАНА МИКОЛАЇВНА, UA, ПРИ-
 ЙМАК ЛЮДМИЛА БОРИСІВНА, UA
 (73) СВИРИД МИХАЙЛО МИКОЛАЙОВИЧ, UA,
 ПАРАЩАНОВ ВЯЧЕСЛАВ ГЕОРГІЙОВИЧ, UA,
 ЗАНЬКО СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, UA, ЗАДНІП-
 РОВСЬКА СВІТЛАНА МИКОЛАЇВНА, UA, ПРИ-
 ЙМАК ЛЮДМИЛА БОРИСІВНА, UA
 (57) Пристрій для дослідження матеріалів на тертя
 та зношування, що містить привід обертання у
 вигляді електродвигуна; статор тензометричної
 балки, до якого кріпиться індентор (робочий зразок);
 диск з контртілом, до якого тензометричною
 балкою притискається робочий зразок, а її тензо-

2

датчик з'єднано з приладом, що реєструє, який
 відрізняється тим, що він додатково містить ста-
 нину, мікроскоп для спостереження поверхні тертя
 та для вимірювання зносу робочого зразка, фото-
 камеру для опрацювання і фіксації зображення
 поверхні робочого зразка на екрані комп'ютера,
 статор тензометричної балки, на якому закріплю-
 ється робочий зразок, акустичний мікрофон для
 зняття частотної характеристики, пружина наван-
 таження для регулювання навантаження, яке по-
 дається на робочий зразок, а також містить комп'ютер
 для відображення частотної
 характеристики та комп'ютер для відображення
 поверхні робочого зразка, при цьому контртіло
 виготовлене з фотографічного скла, підшипники
 електродвигуна, статор тензометричної балки,
 диск та станина виготовлені з неметалевих мате-
 ріалів, а диск з контртілом розташований горизон-
 тально.

Корисна модель належить до техніки дослі-
 дження трибологічних властивостей матеріалів і
 покриттів і може бути застосована для досліджен-
 ня поверхонь тертя в динамічному режимі.

Відомий пристрій для дослідження матеріалів
 на тертя [1] згідно з яким пристрій складається з
 приводу обернено-обертального руху, вузла наван-
 таження, тримачів зразків і вимірювальної систе-
 ми.

Цей пристрій застосовується для дослідження
 трибологічних характеристик круглих і сферичних
 тіл при їх обертанні. Він відзначається складністю
 конструкції та неможливістю спостереження за по-
 верхнею тертя під час проходження досліду. Тоб-
 то, цей пристрій непридатний для оперативної
 оцінки технічного стану робочих поверхонь вузлів
 тертя.

Також відомий пристрій для дослідження ма-
 теріалів на тертя та зношування, вибраний як про-
 тотип [2], який складається з приводу обертання у
 вигляді високомоментного електродвигуна, статор
 якого через підшипник з'єднано з пустотілим рото-
 ром, в якому закріплений диск, що досліджується і

взаємодіє з індентором. Індентор закріплено на
 статорі тензометричної балки, яка притискає інде-
 нтор до бокової поверхні диску за рахунок власної
 пружності, а її тензодатчик з'єднано з приладом,
 що реєструє.

Цей пристрій застосовують в основному при
 дослідженні поведінки матеріалів в умовах космо-
 су, а також при дослідженні на тертя та зношуван-
 ня в наземних умовах. Пристрій відзначається
 складністю конструкції і непридатний для оператив-
 ної оцінки технічного стану робочих поверхонь
 вузлів тертя, а саме візуально спостережати повер-
 хневі перетворення у динамічному режимі.

В основу корисної моделі поставлено задачу
 удосконалити пристрій для дослідження матеріа-
 лів на тертя та зношування шляхом введення но-
 вих елементів та моделювання вузла тертя, що
 являє собою диск з контртілом та робочий зразок,
 щоб забезпечити зменшення габаритів і маси при-
 строю, спрощення конструкції, можливість прове-
 дення контролю умов тертя металевих поверхо-
 робочого зразка по «абсолютно» твердому контр-
 тілу, спостереження і фотографування однієї з

(19) UA (11) 36600 (13) U

поверхонь тертя в момент проведення експерименту, а також забезпечити визначення функціональних та зношувальних характеристик пар тертя, зміни електричного потенціалу в зоні тертя, знімання частотних характеристик процесу напруження.

Поставлена задача удосконалити винахід вирішується тим, що пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування містить привід обертання у вигляді електродвигуна; статор тензометричної балки, до якого кріпиться індентор (робочий зразок); диск з контртілом, до якого тензометричною балкою притискається робочий зразок, а її тензодатчик з'єднано з приладом, що реєструє, згідно з корисною моделлю він додатково містить станину, мікроскоп для спостереження поверхні тертя та для вимірювання зносу робочого зразка, фотокамери для опрацювання і фіксації зображення поверхні робочого зразка на екрані комп'ютера, статор тензометричної балки, на якому закріплюється робочий зразок, акустичний мікрофон для зняття частотної характеристики, пружина навантаження для регулювання навантаження, яке подається на робочий зразок, а також містить комп'ютер для відображення частотної характеристики та комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка, при цьому контртіло виготовлене з фотографічного скла, підшипники електродвигуна, статор тензометричної балки, диск та станина виготовлені з неметалевих матеріалів, а диск з контртілом розташований горизонтально.

За допомогою пристрою для дослідження матеріалів на тертя та зношування є можливість провести моніторинг зміни топографії поверхні, оцінити кількісні параметри утворених плівок окислів і їх геометричні розміри. Робочі характеристики пристрою дають змогу заздалегідь підбирати матеріали з урахуванням робочих параметрів вузла тертя і навколишнього середовища. Відповідно до зміни частотної характеристики вузла тертя підібрати частотну протифазу для запобігання зносу у вузлі тертя. Технічні умови пристрою дозволяють зробити фотографії та провести відеозйомку поверхневих перетворень у динамічному режимі. Комплексний підхід значно розширює уявлення про механізми утворення захисних плівок на поверхні тертя.

На Фіг.1 зображено фото пропонованого пристрою для дослідження матеріалів на тертя та зношування.

На Фіг.2 зображено електричну схему підключення зразка: 1 - допоміжний електрод, 2 - робочий зразок, 3 - контртіло, 4 - об'єктив мікроскопу.

Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування (Фіг.1) складається із електродвигуна 1, станини 2, мікроскопу Мета Р-1 «ЛОМО» 3, фотокамери "Quick Cam Express" 4, статору тензометричної балки 5, де міститься пружина навантаження та акустичний мікрофон та кріпиться робочий зразок (на фото не вказано), диск з контртілом 6, комп'ютер для відображення частотної характеристики 7, комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка 8.

Електродвигун 1 винесено за межі станини 2, щоб зменшити вплив вібрації, крутильний момент

передається гумовим пасом, що переміщує диск з контртілом 6 так, що можливо плавно змінювати швидкість від 0,05 до 2м/сек. Момент тертя вимірюють двома механізмами: першим - реєструють зміну струму на електродвигуні залежно від навантаження, яке регулюють пружиною навантаження; другим - тензометричною балкою, вмонтованою в статор тензометричної балки 5, в яку вставлено акустичний мікрофон та пружину навантаження.

Диск з контртілом розташовують горизонтально, що дає можливість проводити експеримент в змащувальних, корозійних середовищах та в повітрі. Контртіло являє собою прозору скляну пластину з фотографічного скла, яка пропускає крізь себе світло без заломлення. Навпроти робочого зразка, через скло, вмонтовано об'єктив мікроскопу 4 (Фіг.2), через систему лінз якого світло фокусується в фотокамеру 4 «Quick Cam Express» (Фіг.1) зі стандартним програмним забезпеченням для опрацювання та фіксації на екрані комп'ютеру 8 і записування на електронні носії стану і коєсті поверхонь тертя. Ця система дає змогу контролювати умови тертя металевих поверхонь (робочого зразка) по «абсолютно» твердому контртілу 3 (Фіг.2), яким є електрично нейтральне скло. За допомогою механізмів переміщення статору тензометричної балки з робочим зразком по площині скла можна змінювати доріжку тертя, таким чином фотографування проводили на чистій ділянці скла в зоні дії об'єктива. Оскільки після напруження на поверхні скла завжди залишається слід від металевого матеріалу, то можна зробити експрес-аналіз продуктів зношення, їх величин на металографічному мікроскопі. У зону тертя можна подавати різні розчини краплями або заливати рідину (Фіг.2). Для зняття напруги, що виникає під час тертя металевої поверхні за зразком вбудовано електрод 1 (Фіг.2). Між електродом та металевим зразком 2 (Фіг.2) виникає струм і фіксується амперметром. Значення струму характеризує потужність утворення окисних плівок на поверхні металу. Знімаючи напругу з поверхні тертя, необхідно ізолювати неробочу поверхню робочого зразка, яка не третя від потрапляння на неї рідини, зазвичай для цього використовують цапонлак або термоусадочну трубку. Характер залежності струму знімається амперметром. Час, за який проходить цикл зміни напруги від максимальної до мінімальної, пояснюється нарощуванням окисних плівок на поверхні тертя до рівня критичної товщини, після чого плівка зривається і процес повторюється, що можна зафіксувати фотокамерою.

Таким чином, створивши базу даних на металеві матеріали в робочих розчинах, показниками якої будуть величини струму та напруги, можна прогнозувати ступінь захисту поверхонь тертя та підбирати пари тертя до робочого вузла.

Процес тертя завжди випромінює акустичні хвилі, тому пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування обладнаний акустичним мікрофоном для зняття частотної характеристики, яка виводиться на екран комп'ютера 7 стандартною програмою Spectrum LAB (Фіг.1) з можливістю запису на магнітні носії, для точності вимірювання і зменшення впливу сторонніх звуків від працюючих механізмів статор тензометричної балки, диск,

5

36600

6

станину виготовляють з неметалевих матеріалів. Підшипники електродвигуна виготовляють з фторопласту 4. Час нарощування окисних плівок супроводжується додатковою силою звуку, яка виглядає як підняття загальної частотної кривої по всій довжині звукового сигналу. У момент зриву окисної плівки з поверхні металу на середніх та високих частотах 10...20кГц спостерігається сплеск частотної складової у вигляді піків.

Технологія проведення експерименту значно спрощується за одночасного записування частотних даних та фотографування поверхні тертя.

Дослідження матеріалів на тертя та зношування здійснюють наступним чином: поверхню робочого зразка притирають на абразивній шкурці-мікронці, після чого промивають спиртом і зважують на аналітичних терезах АДВ-200М з точністю до 10^{-4} грама. Далі робочий зразок розмішають в статорі тензометричної балки 5 і встановлюють необхідне навантаження за допомогою пружини навантаження. Статор тензометричної балки розміщують на станині 2 таким чином, щоб отримати необхідну швидкість обертання диску з контртілом 6, потім підключають постійну напругу «мінус» на робочий зразок 2 (Фіг.2) та «плюс» до допоміжного електроду 1 (Фіг.2), вмикають електродвигун 1 (Фіг.1), відмічають початковий та встановлений

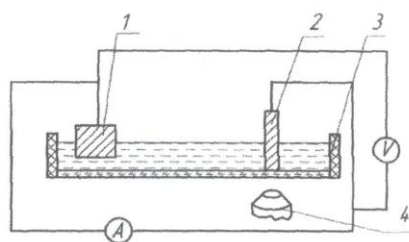
струм на амперметрі, який проходить по колу допоміжний електрод - струмопровідний розчин - робочий зразок. Іони в струмопровідному розчині переміщуються на робочий зразок, від чого змінюють його хімічні властивості. Зміни на поверхні тертя фіксують фотокамерою «Quick Cam Express» 4 з послідуною обробкою на комп'ютері 8. Отримання зображення поверхні робочого зразка на комп'ютері здійснюють по променю світла, що спрямовується від мікроскопа 3 Метап Р-1 «ЛОМО», відбивається від поверхні робочого зразка і повертається до мікроскопу, а з нього до фотокамери з послідуною обробкою на комп'ютері. Одночасно за допомогою акустичного мікрофону записують частотну характеристику, яка виводиться на екран комп'ютера 7 стандартною програмою Spectrum LAB з можливістю запису на магнітні носії. Знос вимірюють на мікроскопі способом міток, які роблять мікротвердоміром ПМТ-3, до і після досліду, не розбираючи пристрій в процесі досліду.

Джерела інформації

1. Патент Российской Федерации RU 2 289 119 С1, G01N19/02, G01N3/56, 12.07.2005.
2. Патент Российской Федерации RU 2 279 057 С1, G01N3/56, 04.02.2006.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Підписне

Тираж 28 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601

UA 30000

(19) UA

(57) МПК (2006)
G01N 3/56

- (21) Номер заявки: **u 2008 09663**
- (22) Дата подання заявки: **23.07.2008**
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **27.10.2008**
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **27.10.2008, Бюл. № 20**

- (72) Винахідники:
**Свирид Михайло
Миколайович (UA),
Паращанов Вячеслав
Георгійович (UA),
Занько Сергій Миколайович
(UA),
Задніпровська Світлана
Миколаївна (UA),
Приймак Людмила
Борисівна (UA)**

- (73) Власники:
**Свирид Михайло
Миколайович,
вул. Патріотів, 65, кв.2, м.Київ,
03061, Паращанов Вячеслав
Георгійович,
вул. Народного Ополчення, 4,
кв.15, м.Київ-115, Занько
Сергій Миколайович,
вул. Бориславська, 5, м.Київ,
03061, Задніпровська
Світлана Миколаївна,
вул. Ніжинська 29а, 5-6, м.Київ,
03058, Приймак Людмила
Борисівна,
вул. Ніжинська, 29а, 1-6, м.Київ,
03058**

- (54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ НА ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

- (57) Формула корисної моделі:

Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування, що містить привід обертання у вигляді електродвигуна; статор тензометричної балки, до якого кріпиться індентор (робочий зразок); диск з контртілом, до якого тензометричною балкою притискається робочий зразок, а її тензодатчик з'єднано з приладом, що реєструє, який відрізняється тим, що він додатково містить станину, мікроскоп для спостереження поверхні тертя та для вимірювання зносу робочого зразка, фотокамеру для опрацювання і фіксації зображення поверхні робочого зразка на екрані комп'ютера, статор тензометричної балки, на якому закріплюється робочий зразок, акустичний мікрофон для зняття частотної характеристики, пружина навантаження для регулювання навантаження, яке подається на робочий зразок, а також містить комп'ютер для відображення частотної характеристики та комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка, при цьому контртіло виготовлене з фотографічного скла, підшипники електродвигуна, статор тензометричної

(11) 36600

Пронумеровано, прошито металевими люверсами та скріплено печаткою
3 арк.
27.10.2008

Уповноважена особа



[Handwritten signature]

(підпис)

УКРАЇНА

**ПАТЕНТ****НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ****№ 70877****ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ В
ПОСТІЙНОМУ РІВНОМІРНОМУ ТА НЕРІВНОМІРНОМУ
МАГНІТНОМУ ПОЛІ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.06.2012.**

Г.в.о. голови Державної
служби інтелектуальної
власності України



В.С. Дмитришин



UA 70877 U

Корисна модель належить до техніки дослідження, трибологічних властивостей матеріалів і покриттів і може бути застосована для дослідження поверхонь тертя та робочих середовищ в динамічному режимі.

Відомий пристрій для дослідження матеріалів на тертя [1], згідно з яким пристрій складається із електродвигуна, станини, мікроскопа Метам Р-1 "ЛОМО", фотокамери "Quick Cam Express", статора тензометричної балки, де міститься пружина навантаження та акустичний мікрофон та кріпиться робочий зразок, диск з контртілом, комп'ютер для відображення частотної характеристики, комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка.

Цей пристрій застосовується для дослідження трибологічних властивостей матеріалів і покриттів і може бути застосований для дослідження поверхонь тертя в динамічному режимі. Недоліком цього пристрою є те, що він не дає можливості проводити дослідження в рівномірному та нерівномірному магнітному полі.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалити пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування шляхом введення нових елементів, що являють собою два магніти для забезпечення впливу постійного, рівномірного та нерівномірного магнітного поля на робоче середовище.

Поставлена задача удосконалити корисну модель вирішується тим, що пристрій для дослідження поверхонь тертя в постійному рівномірному та нерівномірному магнітному полі містить привід обертання у вигляді електродвигуна; статор тензометричної балки, на якому закріплюється робочий зразок; диск з контртілом, до якого тензометричною балкою притискається робочий зразок, а її тензодатчик з'єднано з приладом, що реєструє, станину, мікроскоп, фотокамеру, акустичний мікрофон, пружину навантаження, а також містить комп'ютер для відображення частотної характеристики та комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка, при цьому контртіло виготовлене з фотографічного скла, підшипники електродвигуна, статор тензометричної балки, диск та станина виготовлені з неметалевих матеріалів, а диск з контртілом розташований горизонтально, згідно з корисною моделлю, він додатково містить два магніти, що вмонтовують один напроти одного таким чином, що можливо змінювати розташування полюсів, паралельно диску з контртілом і робочим середовищем, які створюють постійне, рівномірне та нерівномірне магнітне поле, яким впливають на робоче середовище, що дозволяє проводити додаткові дослідження.

На кресленні зображено пристрій для дослідження поверхонь тертя в постійному рівномірному та нерівномірному магнітному полі: 1 - вузол тертя, 2 - статор тензометричної балки, де міститься пружина навантаження та акустичний мікрофон, 3 - диск з контртілом, 4 - два магніти, 5 - мікроскоп, 6 - фотокамера, 7 - станина, 8 - привід обертання у вигляді електродвигуна.

Робочий зразок, що знаходиться у вузлі тертя 1 розміщують в статорі тензометричної балки 2 і встановлюють необхідне навантаження за допомогою пружини навантаження. Диск з контртілом розташовують горизонтально, що дає можливість проводити експеримент в змащувальних, корозійних середовищах та в повітрі. Статор тензометричної балки розміщують на станині 7 таким чином, щоб отримати необхідну швидкість обертання диска з контртілом 3, один напроти одного вмонтовують два магніти 4 паралельно диску з контртілом, таким чином, що можливо змінювати розташування полюсів, що в свою чергу забезпечує вплив постійного, рівномірного та нерівномірного магнітного поля на робоче середовище, вмикають електродвигун 8. Зміни на поверхні тертя фіксують фотокамерою "Quick Cam Express" 6 з наступною обробкою на комп'ютері (на кресл. не вказано). Отримання зображення поверхні робочого зразка на комп'ютері здійснюють по променю світла, що спрямовується від мікроскопа 5 Метам Р-1 "ЛОМО", відбивається від поверхні робочого зразка і повертається до мікроскопа, а з нього до фотокамери з наступною обробкою на комп'ютері.

Одночасно за допомогою акустичного мікрофона, що міститься у статорі тензометричної балки 2, записують частотну характеристику, яка виводиться на екран комп'ютера стандартною програмою Spectrum LAB з можливістю запису на магнітні носії.

Таким чином, за допомогою магнітів є можливість дослідження впливу постійного рівномірного та нерівномірного магнітного поля, на робоче середовище. Робочі характеристики постійного рівномірного та нерівномірного магнітного поля дають змогу заздалегідь підбирати умови проведення експерименту з урахуванням робочих параметрів вузла тертя і робочого середовища. Можливість змінювати розташування полюсів магніту дозволяє підібрати оптимальне їх розташування для запобігання зносу у вузлі тертя.

Джерела інформації:

1. Патент на корисну модель № 36600 G01N 3/56, 27.10.2008, Бюл. №20 2008.



УКРАЇНА

(19) UA (11) 70877 (13) U

(51) МПК
G01N 3/56 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2011 15161

(22) Дата подання заявки: 21.12.2011

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: 25.06.2012(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 25.06.2012, Бюл.№ 12

(72) Винахідник(и):

Свирид Михайло Миколайович (UA),
Кудрін Анатолій Павлович (UA),
Кравець Іван Андрійович (UA),
Приймак Людмила Борисівна (UA),
Бородій Віктор Миколайович (UA)

(73) Власник(и):

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)

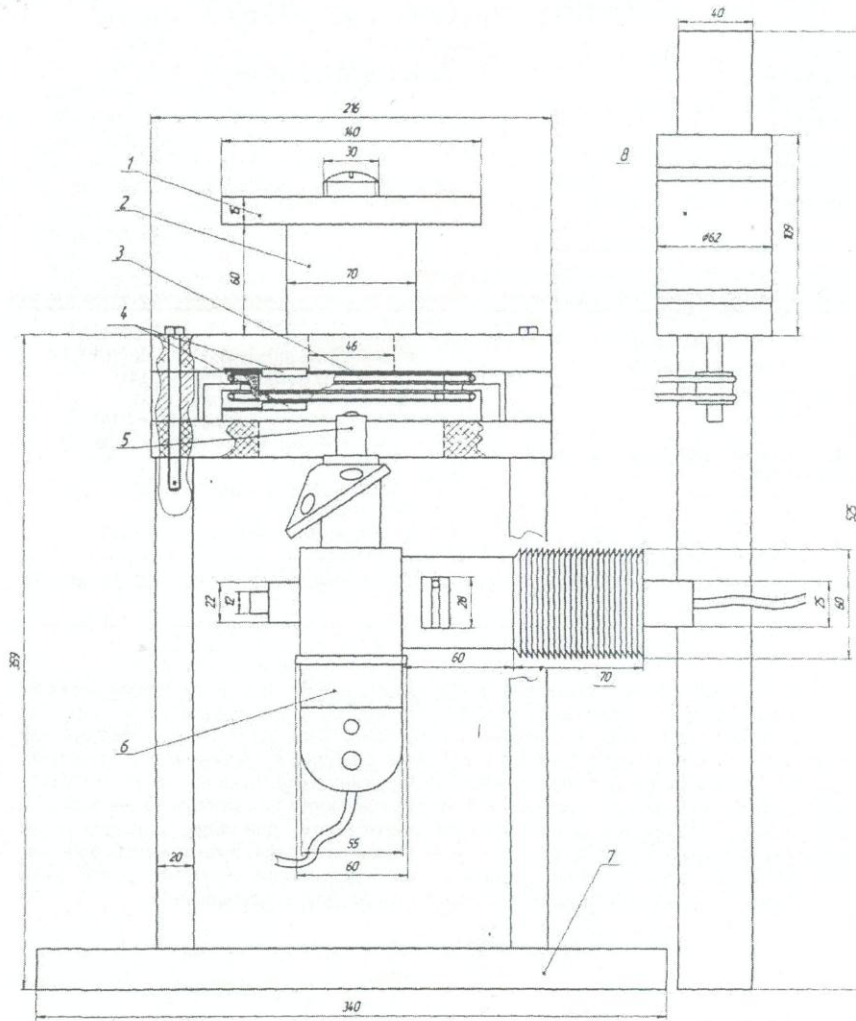
(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ В ПОСТІЙНОМУ РІВНОМІРНОМУ ТА
НЕРІВНОМІРНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ

(57) Реферат:

Пристрій для дослідження поверхонь тертя в постійному рівномірному та нерівномірному магнітному полі містить привід обертання у вигляді електродвигуна; статор тензометричної балки, на якому закріплюється робочий зразок; диск з контртілом, до якого тензометричною балкою притискається робочий зразок, а її тензодатчик з'єднано з приладом, що реєструє, станину, мікроскоп, фотокамеру, акустичний мікрофон, пружину навантаження, а також містить комп'ютер для відображення частотної характеристики та комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка. Додатково містить два магніти, що вмонтовують один напроти одного таким чином, що можливо змінювати розташування полюсів, паралельно диску з контртілом і робочим середовищем, які створюють постійне рівномірне та нерівномірне магнітне поле, яким впливають на робоче середовище, що дозволяє проводити додаткові дослідження.

UA 70877 U

UA 70877 U



(11) 70877

(19) UA

(51) МПК
G01N 3/56 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2011 15161**

(22) Дата подання заявки: **21.12.2011**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.06.2012**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.06.2012, Бюл. № 12**

(72) Винахідники:
**Свирид Михайло
Миколайович, UA,
Кудрін Анатолій Павлович,
UA,
Кравець Іван Андрійович,
UA,
Приймак Людмила
Борисівна, UA,
Бородій Віктор
Миколайович, UA**

(73) Власник:
**НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Комарова, 1, м. Київ,
03680, UA**

(54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ В ПОСТІЙНОМУ РІВНОМІРНОМУ ТА НЕРІВНОМІРНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ

(57) Формула корисної моделі:

Пристрій для дослідження поверхонь тертя в постійному рівномірному та нерівномірному магнітному полі, який містить привід обертання у вигляді електродвигуна; статор тензометричної балки, на якому закріплюється робочий зразок; диск з контртілом, до якого тензометричною балкою притискається робочий зразок, а її тензодатчик з'єднано з приладом, що реєструє, станину, мікроскоп, фотокамеру, акустичний мікрофон, пружину навантаження, а також містить комп'ютер для відображення частотної характеристики та комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка, при цьому контртіло виготовлене з фотографічного скла, підшипники електродвигуна, статор тензометричної балки, диск та станина виготовлені з неметалевих матеріалів, а диск з контртілом розташований горизонтально, який відрізняється тим, що він додатково містить два магніти, що вмонтовують один напроти одного таким чином, що можливо змінювати розташування полюсів, паралельно диску з контртілом і робочим середовищем, які створюють постійне рівномірне та нерівномірне магнітне поле, яким впливають на робоче середовище, що дозволяє проводити додаткові дослідження.

(11) 70877

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
25.06.2012



Уповноважена особа

(підпис)

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 70878

СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ ПОСТІЙНИМ
РІВНОМІРНИМ ТА НЕРІВНОМІРНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.06.2012.**

Т.в.о. голови Державної
служби інтелектуальної
власності України


В.С. Дмитришин



UA 70878 U

Корисна модель належить до способів відновлення поверхонь тертя, наприклад шестеренних насосів і плунжерних пар, і може бути застосована для розширення технічних та експлуатаційних можливостей деталей машин і вузлів транспортних засобів.

Відомий спосіб відновлення машин [1], вибраний як прототип, згідно з яким на частинки матеріалу, яким відновлюють поверхню тертя діють магнітними силовими лініями постійного магніту, який розміщують під поверхнею тертя таким чином, щоб його магнітні силові лінії перетинали поверхню тертя перпендикулярно.

Цей спосіб застосовується для відновлення поверхонь тертя деталей в експлуатації. Недоліком цього способу є те, що він не дає можливості використовувати рівномірне та нерівномірне магнітне поле для процесу відновлення поверхні тертя.

В основу корисної моделі поставлено задачу покращення процесу відновлення поверхонь тертя шляхом застосування трибомагнітного методу, що забезпечує ефективність відновлення поверхонь тертя, способом впливу рівномірного та нерівномірного магнітного поля на робоче середовище процесу тертя.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі на частинки матеріалу, якими відновлюють поверхню тертя, діють магнітними силовими лініями постійного магніту, який відрізняється тим, що на робоче середовище діють магнітними силовими лініями двох постійних магнітів, і, в свою чергу, оброблене магнітним полем робоче середовище при взаємодії з поверхнею тертя значно покращує процес відновлення.

Заявлений спосіб реалізують за допомогою того, що вмонтовують в пристрій два постійних магніти, які розміщують один напроти одного паралельно диску з контртілом таким чином, що можливо змінювати розташування полюсів.

Відновлення поверхні тертя здійснюють наступним чином: робочу поверхню зразка притирають на абразивній шкурі-мікронці, після чого промивають спиртом і зважують на аналітичних терезах АДВ-200М з точністю 10^{-4} грама. Заливають рідину в ємність, що являє собою диск з контртілом, в статорі розміщують робочий зразок так, щоб його поверхня тертя була занурена у рідину, а неробочу поверхню зразка ізолюють від потрапляння рідини цапонлаком або термоусадковою ізолюючою трубкою. Під диском з контртіла та над ним паралельно розміщують два постійних магніти таким чином, щоб їх магнітні силові лінії перетинали робоче середовище перпендикулярно. Вмикають електродвигун, що обертає диск з контртілом.

Тертя двох поверхонь, робочого зразка та контртіла у робочому середовищі, яке знаходиться під впливом дії магнітних силових ліній, супроводжується направленою дією магнітного поля, таким чином, що процес відновлення поверхонь тертя відбувається інтенсивніше.

Таким чином, у заявленому способі відновлення поверхні тертя проходить за рахунок направленої дії рівномірного та нерівномірного магнітного поля на робоче середовище.

Отже, за допомогою заявленого способу представляється можливість, за безрозбірною технологією відновлення, значно підвищити ефективність відновлення прецизійних пар тертя.

Джерела інформації:

1. Патент на корисну модель № 36601 G01N 3/56, 27.10.2008, Бюл. № 20 2008 р.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб відновлення поверхні тертя постійним рівномірним та нерівномірним магнітним полем, яке засновано на тому, що на частинки матеріалу, якими відновлюють поверхню тертя, діють магнітними силовими лініями постійного магніту, який відрізняється тим, що на робоче середовище діють магнітними силовими лініями двох постійних магнітів, і, в свою чергу, оброблене магнітним полем робоче середовище при взаємодії з поверхнею тертя значно покращує процес відновлення.

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **70878** (13) **U**(51) МПК
G01N 3/56 (2006.01)
F16C 33/14 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2011 15162	(72) Винахідник(и): Свирид Михайло Миколайович (UA), Кудрін Анатолій Павлович (UA), Кравець Іван Андрійович (UA), Приймак Людмила Борисівна (UA), Бородій Віктор Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки: 21.12.2011	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2012	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2012, Бюл.№ 12	

(54) СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ ПОСТІЙНИМ РІВНОМІРНИМ ТА НЕРІВНОМІРНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ**(57) Реферат:**

Спосіб відновлення поверхні тертя постійним рівномірним та нерівномірним магнітним полем засновано на тому, що на частинки матеріалу, якими відновлюють поверхню тертя, діють магнітними силовими лініями постійного магніту. На робоче середовище діють магнітними силовими лініями двох постійних магнітів, і, в свою чергу, оброблене магнітним полем робоче середовище при взаємодії з поверхнею тертя значно покращує процес відновлення.

UA 70878 U

(11) 70878

(19) UA

(51) МПК
G01N 3/56 (2006.01)
F16C 33/14 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2011 15162

(22) Дата подання заявки: 21.12.2011

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: 25.06.2012(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: 25.06.2012,
Бюл. № 12(72) Винахідники:
Свирид Михайло
Миколайович, UA,
Кудрін Анатолій Павлович,
UA,
Кравець Іван Андрійович,
UA,
Приймак Людмила
Борисівна, UA,
Бородій Віктор
Миколайович, UA(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Комарова, 1, м. Київ,
03680, UA

(54) Назва корисної моделі:

**СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ ПОСТІЙНИМ РІВНОМІРНИМ ТА НЕРІВНОМІРНИМ
МАГНІТНИМ ПОЛЕМ**

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб відновлення поверхні тертя постійним рівномірним та нерівномірним магнітним полем, яке засновано на тому, що на частинки матеріалу, якими відновлюють поверхню тертя, діють магнітними силовими лініями постійного магніту, який відрізняється тим, що на робоче середовище діють магнітними силовими лініями двох постійних магнітів, і, в свою чергу, оброблене магнітним полем робоче середовище при взаємодії з поверхнею тертя значно покращує процес відновлення.

(11) 70878

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
25.06.2012



Уповноважена особа

(підпис)

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 81368

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕНЕРГОІНФОРМАЦІЙНОГО
СТАНУ РІДИННОФАЗНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ У
МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні
моделі 25.06.2013.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

М.В. Ковіня





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **81368** (13) **U**

(51) МПК

A61B 5/05 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

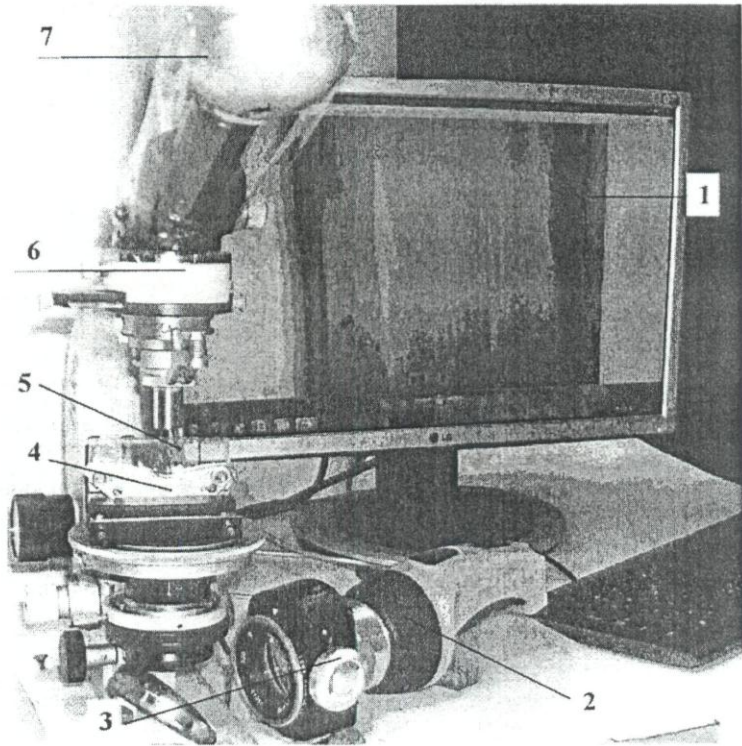
(21) Номер заявки: u 2013 00894	(72) Винахідник(и): Свирид Михайло Миколайович (UA), Кудрін Анатолій Павлович (UA), Волосович Георгій Андрійович (UA), Приймак Людмила Борисівна (UA), Якобчук Олександр Євгенійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 25.01.2013	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2013	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2013, Бюл.№ 12	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕНЕРГОІНФОРМАЦІЙНОГО СТАНУ РІДИННОФАЗНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ**(57) Реферат:**

Пристрій для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі містить діелектрик, що знаходиться між джерелом енергії та досліджуваним матеріалом, фотокамеру для опрацювання і фіксації зображення енергоінформаційних змін. Додатково містить джерело світла, об'єктив для обробки світла, мікроскоп, постійні магніти та комп'ютер.

UA 81368 U

UA 81368 U



UA 81368 U

Корисна модель належить до пристроїв для дослідження енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі та фотофіксування їх світіння.

Відомий пристрій дослідження, обробки та аналізу електронних зображень за допомогою газорозрядного світіння, що створюється внаслідок розміщення об'єкта в електричному полі

5 високої напруги, вибраний як прототип [1].

Цей пристрій застосовується в основному при дослідженні енергетичного стану об'єктів. Недоліком пристрою є неможливість повної візуалізації рідиннофазного об'єкта, у зв'язку з чим

10 недостатня інформативність і незадовільна вірогідність отриманих результатів. В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалити пристрій для дослідження енергоінформаційного стану матеріалів шляхом введення нових елементів, що дозволяє одержати повноцінне зображення структур світіння рідиннофазного об'єкта, що значно підвищує

інформативність та вірогідність оцінки енергоінформаційного стану об'єктів. Поставлена задача удосконалити корисну модель вирішується тим, що пристрій для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі містить діелектрик, що знаходиться між джерелом енергії та досліджуванним матеріалом, фотокамеру для опрацювання і фіксації зображення енергоінформаційних змін, згідно з корисною моделлю, додатково містить джерело світла, об'єктив для обробки світла, мікроскоп для спостереження енергоінформаційних змін в рідиннофазних вуглецевих матеріалах, постійні магніти, що створюють магнітне поле для обробки рідиннофазного матеріалу, комп'ютер для відображення зафіксованих даних.

20 За допомогою пристрою для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі є можливість проводити моніторинг зміни енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі. Робочі характеристики пристрою дають змогу заздалегідь підбирати умови досліджень з урахуванням робочих параметрів рідиннофазних матеріалів і навколишнього середовища. Технічні умови пристрою дозволяють зробити фотографії та провести відеозйомку рідиннофазних перетворень. Комплексний підхід значно розширює уявлення про механізми зміни енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі.

30 На фото зображено пристрій для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі.

Пристрій для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі (фото) складається із, комп'ютера для фіксації зображення енергоінформаційних змін в рідиннофазних вуглецевих матеріалах 1, джерела світла 2, об'єктива для обробки світла 3, постійних магнітів 4, що створюють магнітне поле для обробки рідиннофазного матеріалу, діелектричної скляної ємності 5, що знаходиться між магнітним полем та досліджуванним матеріалом, мікроскопа 6, фотокамери 7.

Заявлена корисна модель реалізується таким чином.

40 Діелектричну скляну ємність 5 розташовують між двома постійними магнітами 4. Далі наповнюють її рідиннофазним вуглецевим матеріалом та розташовують на оптичній осі мікроскопа 6. Потім за допомогою джерела світла 2 та об'єктива для обробки світла 3, пропускають промінь світла через досліджуваний рідиннофазний матеріал, що знаходиться під дією магнітного поля. Далі за допомогою фотокамери 7 опрацюють і фіксують зображення енергоінформаційних змін в рідиннофазних вуглецевих матеріалах на моніторі комп'ютера 1. Таким чином, досліджують зміну енергетичного стану мастила залежно від зміни його кольору під дією магнітного поля.

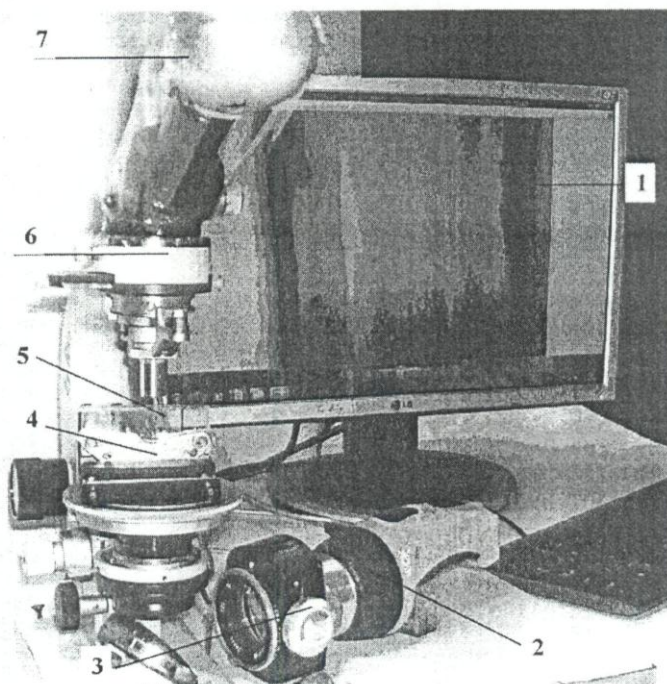
45 Джерела інформації:

1. Патент Российской Федерации RU 2118124, "Способ оценки электромагнитного поля биообъекта и устройство для его осуществления", МПК А61В 5/05, 1998.

50 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

55 Пристрій для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі, що містить діелектрик, що знаходиться між джерелом енергії та досліджуванним матеріалом, фотокамеру для опрацювання і фіксації зображення енергоінформаційних змін, який відрізняється тим, що він додатково містить джерело світла, об'єктив для обробки світла, мікроскоп для спостереження енергоінформаційних змін в рідиннофазних вуглецевих матеріалах, постійні магніти, що створюють магнітне поле для обробки рідиннофазного матеріалу, комп'ютер для відображення зафіксованих даних.

UA 81368 U



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

(11) 81368

(19) UA

(51) МПК
A61B 5/05 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2013 00894
(22) Дата подання заявки: 25.01.2013
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2013
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 25.06.2013, Бюл. № 12

(72) Винахідники:
Свирид Михайло
Миколайович, UA,
Кудрін Анатолій Павлович,
UA,
Волосович Георгій
Андрійович, UA,
Приймак Людмила
Борисівна, UA,
Якобчук Олександр
Євгенійович, UA

(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Комарова, 1, м. Київ,
03680, UA

(54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕНЕРГОІНФОРМАЦІЙНОГО СТАНУ РІДИННОФАЗНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

(57) Формула корисної моделі:

Пристрій для оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі, що містить діелектрик, що знаходиться між джерелом енергії та досліджуваним матеріалом, фотокамеру для опрацювання і фіксації зображення енергоінформаційних змін, який відрізняється тим, що він додатково містить джерело світла, об'єктив для обробки світла, мікроскоп для спостереження енергоінформаційних змін в рідиннофазних вуглецевих матеріалах, постійні магніти, що створюють магнітне поле для обробки рідиннофазного матеріалу, комп'ютер для відображення зафіксованих даних.

(11) **81368**

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
25.06.2013



Уповноважена особа

(підпис)

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 81369

СПОСІБ ОЦІНКИ ЕНЕРГОІНФОРМАЦІЙНОГО СТАНУ
РІДИННОФАЗНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ У
МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.06.2013.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

М.В. Ковіня



UA 81369 U

Корисна модель належить до способів оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі та фотофіксування їх світіння і може бути застосована для розширення уявлення про механізми зміни енергоінформаційного стану.

Відомий спосіб фіксації і порівняння структури газорозрядного світіння навколо досліджуваного об'єкту, що створюється внаслідок розміщення об'єкта в електричному полі високої напруги [1].

Цей спосіб застосовується для дослідження енергетичного стану об'єктів. Недоліком цього способу є неможливість повної візуалізації зміни енергоінформаційного стану самого рідиннофазного об'єкту.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення процесу оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних матеріалів шляхом введення нових елементів, щоб отримати повноцінні зображення структур світіння рідиннофазного об'єкту.

Поставлена задача вирішується тим, що фіксують параметри структур газорозрядного світіння у рідиннофазних об'єктах, згідно з корисною моделлю, промінь білого світла пропускають через об'єкти для його обробки та просвічують досліджуваний матеріал, що знаходиться під дією магнітного поля, отримане зображення основних енергоінформаційних зон рідиннофазних вуглецевих матеріалів під дією магнітного поля виводять на монітор комп'ютера.

Заявлений спосіб реалізують наступним чином: діелектричну скляну ємність розташовують між двома постійними магнітами. Далі наповняють її рідиннофазним вуглецевим матеріалом та розташовують на оптичній осі мікроскопа. Потім за допомогою джерела світла та об'єктива для обробки світла, пропускають промінь світла через досліджуваний рідиннофазний матеріал, що знаходиться під дією магнітного поля. Далі за допомогою фотокамери опрацьовують і фіксують зображення енергоінформаційних змін в рідиннофазних вуглецевих матеріалах на моніторі комп'ютера. У такий спосіб досліджують зміну енергетичного стану рідиннофазного матеріалу залежно від зміни його кольору під дією магнітного поля, а саме оранжевий колір характеризується енергією світла 2,1 еВ, а зелений колір - 2,48 еВ.

Таким чином, заявлений спосіб оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі характеризується достовірністю отриманих результатів та можливістю проведення моніторингу змін енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі.

Джерело інформації:

1. Патент України № 83674, "Спосіб визначення енергоінформаційного стану об'єкта", МПК А61В 5/05.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі, заснований на тому, що фіксують параметри структур газорозрядного світіння у рідиннофазних об'єктах, який відрізняється тим, що промінь білого світла пропускають через об'єкти для його обробки та просвічують досліджуваний матеріал, що знаходиться під дією магнітного поля, отримане зображення основних енергоінформаційних зон рідиннофазних вуглецевих матеріалів під дією магнітного поля виводять на монітор комп'ютера.

Комп'ютерна верстка Г. Паляльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601

UA 81369 U

•

•

•



(11) **81369**(19) **UA**(51) МПК
A61B 5/05 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2013 00895**

(22) Дата подання заявки: **25.01.2013**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.06.2013**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.06.2013, Бюл. № 12**

(72) Винахідники:
**Свирид Михайло
Миколайович, UA,
Кравець Іван Андрійович,
UA,
Луб'яний Валерій
Вікторович, UA,
Гриймак Людмила
Борисівна, UA,
Паращанов В'ячеслав
Георгійович, UA**

(73) Власник:
**НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Комарова, 1, м. Київ,
03680, UA**

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ОЦІНКИ ЕНЕРГОІНФОРМАЦІЙНОГО СТАНУ РІДИННОФАЗНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі, заснований на тому, що фіксують параметри структур газорозрядного світіння у рідиннофазних об'єктах, який відрізняється тим, що промінь білого світла пропускають через об'єкти для його обробки та просвічують досліджуваний матеріал, що знаходиться під дією магнітного поля, отримане зображення основних енергоінформаційних зон рідиннофазних вуглецевих матеріалів під дією магнітного поля виводять на монітор комп'ютера.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **81369** (13) **U**

(51) МПК

A61B 5/05 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2013 00895	(72) Винахідник(и): Свирид Михайло Миколайович (UA), Кравець Іван Андрійович (UA), Луб'яний Валерій Вікторович (UA), Приймак Людмила Борисівна (UA), Паращанов В'ячеслав Георгійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 25.01.2013	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2013	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2013, Бюл.№ 12	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ АвіАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)

(54) СПОСІБ ОЦІНКИ ЕНЕРГОІНФОРМАЦІЙНОГО СТАНУ РІДИННОФАЗНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ**(57) Реферат:**

Спосіб оцінки енергоінформаційного стану рідиннофазних вуглецевих матеріалів у магнітному полі включає фіксацію параметрів структур газорозрядного світіння у рідиннофазних об'єктах. Промінь білого світла пропускають через об'єкт для його обробки та просвічують досліджуваний матеріал, що знаходиться під дією магнітного поля. Потім отримане зображення основних енергоінформаційних зон рідиннофазних вуглецевих матеріалів під дією магнітного поля виводять на монітор комп'ютера.

UA 81369 U

(11) 81369

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
25.06.2013



Уповноважена особа

(підпис)