

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра механіки та інженерії агроecosystem

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ШУПРУДЬКО АНДРІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 621.43

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ
АГРЕГАТІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ МОБІЛЬНИХ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____Шупрудько А.В.

Керівник роботи
Шелудченко Б.А.
к.т.н., професор

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Шупрудько Андрій Віталійович. Розробка заходів для зниження зношування агрегатів дизельних двигунів мобільних сільськогосподарських машин. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

Випробування зразків пар тертя ("ролик"- "колодка") на припрацювання на машині тертя 2070 СМТ-1М показали, що при обробці оливи ультразвуком частотою 8 кГц передзадирне навантаження коефіцієнт тертя, а також відповідне йому оптимальне навантаження не змінилися порівняно з випробуваннями з використанням оливи, необробленої ультразвуком; при обробці оливи ультразвуком частотою 12 кГц передзадирне навантаження% коефіцієнт тертя зменшився на 3,6%, при цьому відповідне йому оптимальне навантаження не змінилося порівняно з випробуваннями з використанням оливи, не обробленої ультразвуком.

Тривалі випробування на знос зразків пар тертя ("ролик"- "колодка") на машині тертя 2070 СМТ-1М показали: показник фактора зносу при обробці мастила ультразвуком з частотою 17 кГц зменшився на 28% порівняно з необробленим ультразвуком мастилом, що дозволило скоригувати формулу визначення фактора зносу пар тертя при УЗ обробці синтетичного мастила і довести, що залежність показника фактора синтетичного мастила ультразвуком з частотами в діапазоні від 0 до 44 кГц формою повторює аналогічну залежність для коефіцієнта поверхневого натягу мастила.

Ключові слова: знос, олива, ультразвук, тертя, двигун.

ANNOTATION

Shprudko Andriy Vitaliyovych. Development of measures to reduce wear of diesel engine units of mobile agricultural machines – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

Tests of samples of friction pairs ("roller" - "pad") for running on the friction machine 2070 SMT-1M showed that when treating oil with ultrasonic frequency of 8 kHz pre-burst load friction coefficient and the corresponding optimal load did not change compared to tests using ultrasonic oils; when treating oil with ultrasound at a frequency of 12 kHz pre-emergency load% coefficient of friction decreased by 3.6%, while the corresponding optimal load did not change compared to tests using oil not treated with ultrasound.

Long-term tests for wear of samples of friction pairs ("roller" - "pad") on the friction machine 2070 CMT-1M showed that the wear factor in the treatment of oil with ultrasound at 17 kHz decreased by 28% compared to untreated ultrasonic oil, which allowed to adjust the formula determination of the coefficient of wear of friction pairs during ultrasonic treatment of synthetic lubricants and prove that the dependence of the factor of synthetic lubricants by ultrasound with frequencies in the range from 0 to 44 kHz form repeats the similar dependence for the coefficient of surface tension of lubricants.

Key words: wear, oil, ultrasound, friction, engine.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ НА МАШИНІ ТЕРТЯ ПРИ ОБРОБЦІ МОТОРНОЇ ОЛИВИ УЛЬТРАЗВУКОМ.....	26
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	32
ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Ефективність сучасного сільського господарства багато в чому залежить від характеристик мобільної сільгосптехніки, що використовується. Основні техніко-економічні та експлуатаційні характеристики сучасної сільгосптехніки, такі як енергоспоживання, ККД, надійність, ресурс безвідмовної роботи, ефективність ремонту, екологічна чистота та ін. великою мірою залежать від поточного стану основних конструктивно-технологічних вузлів. У свою чергу, стан конструктивно-технологічних вузлів техніки визначається зносом пар тертя. Найбільш гостро питання зносостійкості пар тертя стоїть у сучасних автотракторних двигунах, агрегати яких працюють в умовах високих температур, значного перепаду зовнішніх атмосферних умов, постійної нерівномірної вібрації, граничного мастила та ін., що різко знижує ресурс двигунів та підвищує вартість їх обслуговування. Наприклад, статистика показує, що за час експлуатації тракторний двигун ремонтується до п'яти разів. При цьому відмови двигунів, які вперше надійшли в ремонт, пов'язані, як правило, зі зношуванням і становлять 50...70% від їх загальної кількості. Таким чином, важливим народногосподарським завданням є розробка та впровадження недорогих та ефективних способів зниження зносу агрегатів двигунів мобільної сільськогосподарської техніки, що підтверджує актуальність цього напряму наукових досліджень [1].

Ступінь розробленості. Вивченням процесів та закономірностей зносу та розробкою трибологічних методів підвищення зносостійкості та довговічності вузлів тертя машин, у тому числі агрегатів двигунів мобільної сільськогосподарської техніки, займалися: Ф.М. Авдонькін, Н.В. Алдошин, В.А. Аметов, А.Г. Арженовський, Н.В. Бишов, С.М. Гайдар, Д.М. Гаркунов, І.Г. Голубєв, М.А. Григор'єв, І.Б. Гурвіч, І.К. Данилов, С.М. Дев'янін, А.С. Денисов, М.М. Єрохін, Н.С. Ждановський, Б.П. Загородських, А.П. Іншаков, І.В.

Крагельський, А.Т. Лебедєв, В.П. Лялякін, А.В. Пидрін, А.В. Чичинадзе та ін. [1-9]. Узагальнення та розвиток результатів робіт даних авторів є основою для створення оптимальних конструкцій вузлів тертя, застосування антифрикційних матеріалів, обробки тертьових поверхонь, нанесення на них спеціальних покриттів, застосування мастил з різними антифрикційними присадками, методів та пристроїв для зовнішніх енергетичних впливів на мастило у вузлах тертя. Проведений у роботі аналіз відомих методів та пристроїв для ультразвукової обробки мастил показав, що не проведена оцінка впливу параметрів ультразвуку, що викликає акустичну кавітацію, таких як: частота, потужність, час впливу, а також розташування випромінювача, на фізико-механічні та хімічні параметри мастила, не пояснена і фізична суть процесу зниження зносу пар тертя при обробці мастила ультразвуком, що говорить про своєчасність та важливість проведення додаткових досліджень у даному напрямку.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи провести обґрунтування параметрів ультразвукової обробки моторної оливи для зменшення інтенсивності зношування пар тертя. Згідно зі сформульованою темою необхідно виконати наступні завдання:

1. Провести аналіз заходів по зменшенню інтенсивності зношування пар тертя дизельних двигунів;
2. Розробити програму і методику експериментальних досліджень;
3. Провести порівняльні випробування.

Об'єкт досліджень – пари тертя агрегатів дизельних двигунів мобільної сільськогосподарської техніки.

Предмет досліджень – процес ультразвукової обробки моторної оливи в системі змащування агрегатів дизельного двигуна і зміни параметрів зношування пар тертя

Методи дослідження. При дослідженні застосовувалися методи хімотології, триботехніки, прикладної фізики, аналітичної геометрії, диференціальних рівнянь, оптимізації та ін. При проведенні розрахунків та при

побудові експериментальних графіків використовувалися програмні продукти MS EXCEL, MathCAD, Statistica, Компас 3D. Також була використана теорія планування та аналізу повнофакторного експерименту при обробці результатів експериментів.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Шелудченко Б.А., **Шупрутько А.В.** Методи зниження зносу агрегатів ДВЗ. Збірник тез ІХ Міжнародної науково-технічної он-лайн конференцію з нагоди 115-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) та 90-річчя кафедри надійності техніки НУБіП України «Крамаровські читання». Київ : НУБіП. С.

2. **Шупрутько А.В.** Методика проведення триботехнічних випробувань на машині тертя при обробці моторної оливи ультразвуком. Збірник тез *VI-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції «*Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*» 30-31 березня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 281-283.

3. **Шупрутько А.В.** Результати триботехнічних випробувань на машині тертя при обробці моторної оливи ультразвуком. Збірник тез *VII-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції «*Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*» 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 228-230.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє розроблений процес ультразвукової обробки моторної оливи.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки комп'ютерного тексту, містить 18 рисунків та 6 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Методи зниження зносу агрегатів ДВЗ, засновані на активації мастил зовнішніми енергетичними впливами

Існує ряд методів зниження зносу елементів трибоспряжень, заснованих на активації мастильних властивостей масел зовнішніми енергетичними впливами. Відомий спосіб та пристрої для зниження зносу пар тертя шляхом впливу на мастило постійним струмом. Розглянемо роботу електронного регулятора тертя. Схема регулятора представлена рис. 1.1.

Тепло, що виділяється у вузлі тертя, (прямо пов'язане з коефіцієнтом тертя) фіксує термодатчик 1. При певній температурі у вузлі електричний сигнал термодатчика, посилений в блоці 2, подається в блок управління 3, який включає пристрій подачі постійної напруги 4, яке забезпечує подачу постійного струму на контакти, підключені гнучкими проводами до деталей пари тертя, причому сила струму пропорційна температурі у вузлі тертя [4].

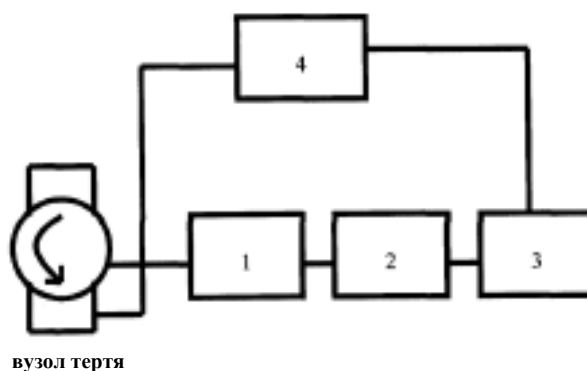


Рис. 1.1. Електронний регулятор тертя: 1 – термодатчик, 2 – блок посилення, 3 – блок управління, 4 – пристрій подачі постійної напруги.

Дія постійного струму покращує трибологічні властивості мастила та знижує знос деталей вузла тертя. Недоліками є:

- низька ефективність, пов'язана з невеликим зниженням зносу деталей (4-5%);

- неможливість надійного підключення пристрою до реального ДВЗ із-за постійного руху та вібрації деталей;
- високі температури в ДВЗ перешкоджають точному настроюванню термодатчика;
- знаходження ДВЗ під напругою потребує додаткових заходів безпеки.

Недоліком способу на масло електричним струмом є також відсутність ефекту "пам'яті", тобто збереження властивостей масла після відключення струму [6].

Відомі спосіб і пристрій зниження зносу пар тертя за допомогою обробки мастила постійним струмом. Обробка мастильного матеріалу відбувається безпосередньо в трибовузлі, при цьому на одну поверхню деталі трибоузла, що труться, подають постійний струм позитивної полярності, регульований за величиною від 100 до 300 Мка, що проходить по замкненому електричному ланцюгу через шар мастильного матеріалу до поверхні контрдеталі. Подача струму здійснюється від джерела живлення, з'єднаного з потенціометром та регулятором величини та полярності струму. Для підтвердження технічного результату, отриманого даним способом, використовувалася трикулькова машина тертя з парою "куль-циліндр". Як мастило застосовувалися мінеральні моторні оливи: U-technavigator 15W-40; Стандарт 10W-40 та М8-Г2. Значення зносу визначалося як середньоарифметичне значення діаметрів плям зносу за трьома кулями при кожному значенні струму і полярності. Результати досліджень працюючого мастильного матеріалу на трикульковій машині тертя наведено в табл.1.1 [3-8].

Результати випробувань показали, що протизносні властивості масел при позитивному потенціалі вищі, ніж протизносні властивості масел, випробуваних без пропускання струму і при негативному потенціалі на кулях, причому при величині струму 200 мкА та позитивної полярності цей ефект найбільш помітний. При пропусканні струму від 100 до 300 мкА зношування деталей трибовузла знижується в середньому на 10-20%.

Таблиця 1.1 – Результати досліджень працюючого мастильного матеріалу на трикульковій машині тертя

Досліджуване масло	Середнєарифметичне значення діаметру пляма (мм)						
	Без пропуску струму	З пропуском струму					
		100 мкА		200 мкА		300 мкА	
			–		–		–
М8 - Г ₂	0,32	0,293	0,32	0,28	0,3	0,293	0,34
Стандарт 10W-40	0,32	0,28	0,287	0,244	267	0,3	0,34
U-technavigator 15W-40	0,31	0,28	0,326	0,26	0,28	0,32	0,363

Вищеописаний спосіб має ті самі недоліки, що й спосіб, наведений у літературі. Додатковий недолік – необхідність ручного регулювання сили струму. Відомий спосіб і пристрій для зниження зносу пар тертя шляхом на мастило високочастотними електромагнітними імпульсами. Схема пристрою управління мастильною дією представлена на рис. 1.2 [8].

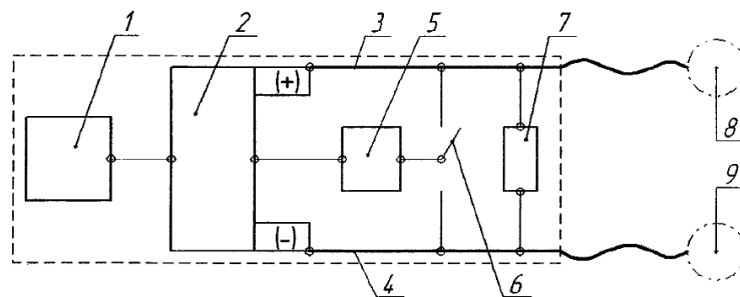


Рис. 1.2. Пристрій управління мастильною дією: 1 - джерело напруги, 2 - перетворювач, 3 – анод, 4 – катод, 5 – генератор, 6 – перемикач, 7 – індикатор роботи, 8,9 – елементи вузла тертя

Пристрій функціонує наступним чином: постійна напруга від джерела 1 через перетворювач 2 і генератор 5, перетворюється в високочастотні електромагнітні імпульси (частота 1,4 ГГц.), які через анод 3 і катод 4 подаються до елементів вузла тертя 8 і 9. Перемикач 6 дозволяє міняти полярність імпульсів. Індикатор 7 сигналізує про справну роботу пристрою або про несправність.

Пропонований пристрій забезпечує підвищення коефіцієнта корисної дії, економію споживання енергоресурсів, нівелювання зносу адгезійного типу, за рахунок імпульсного впливу електромагнітного поля, що модулюється при терті частоти на мастильну здатність матеріалів, що становлять їх вузли тертя [12].

Встановлено, що вплив електромагнітного поля певної частоти на фрикційну взаємодію матеріалів не тільки каталізує адгезійне перенесення, але і пондеomotorні сили, що при цьому виникають, сприяють переміщенню мезо і макро-об'ємів речовини, яким зокрема може виступати мастильний матеріал, тобто додатково сприяють кращому розподілу мастильного середовища по поверхні тертя та її орієнтації у полі дії фрикційних сил. Причому, зовнішніми факторами, що визначають величину пондеomotorної сили, що виникає, і відповідно ступінь її впливу на формування захисної мастильної плівки на поверхні тертя, є: частота зовнішнього імпульсного впливу і електрична енергія процесу поляризації речовини. Встановлено, що підвищенню антифрикційних характеристик вузла тертя сприяє вплив на нього частотою 14 ГГц. На рис. 1.3 наведені фотографії поверхонь тертя, покритих мастильним матеріалом, виконані на тунельному мікроскопі, що сканує. На рис. 1.3 (а) представлена фотографія поверхні тертя при використанні пристрою на рис. 1.3 (б) – без використання пристрою.

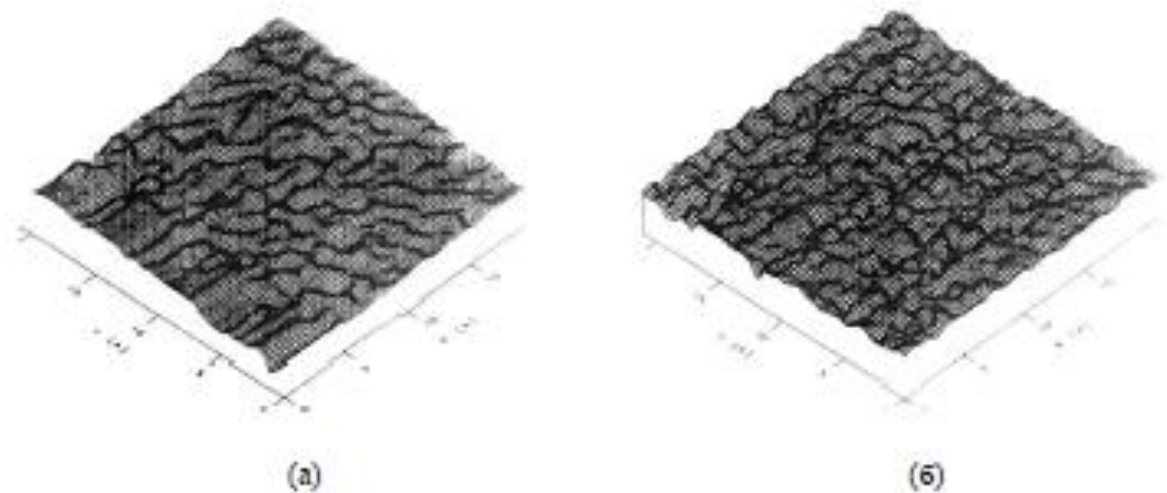


Рис. 1.3. Поверхні тертя, покриті мастильними матеріалами

Видно, що при використанні пристрою в «антифрикційному режимі» поверхня тертя більш однорідно покрита молекулами мастильного матеріалу - спостерігається її краще змочування. В даному випадку молекули розташовуються на поверхні тертя у вигляді довгих ланцюгів (це підтверджує структуруючий вплив на мастильний матеріал пристрою) з чітко вираженою орієнтацією як по висоті (у вигляді «ворсу»), так і в напрямку тертя, що відповідно до загальних законів тертя сприяє зниженню коефіцієнта тертя та підвищенню несучої здатності сполучення [7-12].

Відомо, що контактна напруга, яка може витримати добре орієнтований граничний шар товщиною 0,02-0,04 мкм, становить 5-6 МПа, а здатність полімолекулярного шару, що несе, не перевищує 5-10 МПа. Відповідно, у межах зазначених значень можна говорити про виключення можливості прояву зносу адгезійного типу.

Випробування пар тертя сталь-бронза, а також сталь - фторопласт на машині тертя торцевого типу при роботі запропонованого пристрою показали, що вплив на олію електромагнітними імпульсами дозволяє отримати зниження зносу деталей вузла тертя до 11%. Виконане у вигляді окремого блоку пристрій може бути підключено до ДВЗ. Недоліками є:

- недостатнє зниження зносу деталей;
- так само, як і при впливі струмом, зниження зносу деталей вузла тертя спостерігається тільки при включеному пристрої;
- дорогі заходи забезпечення безпеки, пов'язані з постійним перебуванням ДВЗ під напругою [5].

Цікавий спосіб поліпшення антифрикційних властивостей мастила і реалізують його пристрої, що використовують обробку мастила магнітним полем. Джерелами магнітного поля можуть виступати як природні магніти, так і соленоїди. Розглянемо типовий приклад магнітного пристрою - магнітоактиватор для обробки мастил. Спрощене креслення магнітоактиватора представлено на рис. 1.4. Пристрій містить корпус з феромагнітного матеріалу,

трубопровід з немагнітного матеріалу і кілька пар магнітів, розташованих з різних сторін трубопроводу, причому пари, що знаходяться з різних сторін, розташовані зі зміщенням. Трубопровід магнітоактиватора включається до системи мастила вузла тертя (наприклад, ДВЗ). Олива, що циркулює в системі мастила, обробляється магнітним полем.

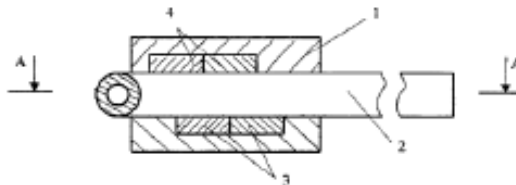


Рис. 1.4. Креслення магнітоактиватора: 1 – корпус; 2 – трубопровід; 3 та 4 – пари магнітів.

Були проведені зношувальні випробування автомобільного компресора при омагнічуванні мастила за допомогою магнітоактиватора (МА). Зношення середньої швидкості (темпа) зносу основних тертьових деталей кривошипно-шатунної групи при застосуванні магнітоактиватора становить від 13,9 до 16,6%.

Перевагою способу є простота реалізації та невисока вартість пристрою. До недоліків способу та пристрою слід віднести невисоку ефективність. Тому, для підвищення ефективності, у пристрої на додаток до обробки оливи магнітним полем, автори пропонують вводити в олію металовмісні добавки, дисперсійні частинки якої омагнічуються разом з олією. Це призводить до ускладнення та підвищення вартості пристроїв. Також, незважаючи на захист, при постійному або періодичному знаходженні вузлів техніки під дією магнітного поля високої напруженості, виникають магнітні наведення, що призводять до збоїв та відмови електронних приладів сучасної мобільної сільгосптехніки. Відомі роботи, автори яких пропонують покращувати мастильні властивості рідких олій впливом на них γ променями. У роботі представлено дослідження зміни фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей моторного масла М-10Г2 при опроміненні його гамма-випромінюванням С60 на установці РХМ - 20. Зовнішній вигляд установки представлений на рис. 1.5 [6]



Рис. 1.5. Зовнішній вигляд установки РХМ γ - 20

Отримані результати показують, що опромінення масла як малими дозами гамма-випромінювання (до 3,0 крад), так і вищими (10^2 - 10^4 крад) не впливає на зміну в'язкості та лужного числа досліджуваного масла

Результати визначення поверхневого натягу досліджуваного моторного масла показали, що воно знижується на 11,5% при дозі опромінення 2 крад, а надалі залишається майже постійним. Електропровідність оливи змінюється від дози гамма-випромінювання. Найбільше збільшення електропровідності (близько 11%) відбулося у зразку, який опромінений дозою в 2 крази. За подальшого збільшення дози гамма-випромінювання спостерігається зниження електропровідності моторного масла. Відомо, що зі зростанням електропровідності моторних масел їхня миюча дія підвищується. Враховуючи це, можна припустити, що з підвищенням електропровідності оливи в результаті опромінення покращаться її миючі властивості. Випробування протизносних та антифрикційних властивостей опроміненого моторного масла М-10Г2 виконувались на чотирикульковій машині тертя (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Результати випробувань на машині тертя

Доза опромінення, крад.	Зносостійкі і антифрикційні властивості					
	P_k , кН	Изм. P_k %	P_{kv} , кН/мм ²	K_m	Изм. K_m %	$СП_p$
0	0,9	100	1,73	0,09	100	0,43
1,0	0,95	105,5	2,26	0,085	94	0,46
2,0	1,0	111,5	2,7	0,078	87	0,51
3,0	1,0	111,5	2,51	0,082	91	0,495

Аналіз отриманих результатів (див. таблицю) показав, що опромінені оливи мають кращі протизадирні властивості. Максимальне збільшення критичного навантаження (P_k) на 11,5% встановлено для зразка моторного масла, опроміненого дозою 2 крад, порівняно з неопроміненим маслом. Антифрикційні властивості товарної та опроміненої олій оцінювали за зміною коефіцієнта тертя (K_m) залежно від осьового навантаження. Встановлено, що інтенсивність збільшення коефіцієнта тертя в залежності від осьового навантаження при роботі на зразку оливи, опроміненої дозою 2–2,5 крад, майже вдвічі менша, ніж при роботі на зразку товарної моторної оливи [12].

З даних таблиці видно, що опромінення моторного масла оптимальною дозою значно покращує протизносні та антифрикційні властивості. Так, при дозі опромінення 2 крад коефіцієнт тертя знизився на 13% порівняно з товарним маслом при навантаженнях, що не перевищують критичних. Відомо, що $СП_p$ (ступінь наближення реальної протизносної характеристики оливи до ідеальної) – величина безрозмірна, менша за одиницю і характеризує змащувальні властивості оливи. З даних таблиці видно, що $СП_p$ має більше значення у опромінених олій. Поліпшення змащувальної здатності опромінених моторних масел пояснюється їх вищою поверхневою активністю, ніж товарних. Це призводить до утворення активних частинок полярних. Опромінені зразки масла надають також значний вплив на зниження інтенсивності процесу стирання поверхонь, що змащуються. Інтенсивність зношування куль на опроміненому маслі дозою 2 крад приблизно в 1,8 рази менше, ніж при застосуванні товарного

масла. Слід зазначити, що дослідження, наведені у роботах, мають суто лабораторний характер. Не були досліджені питання збереження ефекту в часі після опромінення, необхідності повторних опромінення, радіаційної безпеки експлуатації опроміненого масла. Також були запропоновані конструкції пристроїв для прикладного використання запропонованого способу. Таким чином, питання практичного застосування способу залишається відкритим.

Відомий спосіб підвищення експлуатаційних параметрів трибомеханічних систем шляхом активації мастильних матеріалів лазерним випромінюванням. Були проведені дослідження залежності фізико-механічних характеристик мастил (кінетичної в'язкості, коефіцієнта поверхневого натягу та ін.) від потужності та довжини хвилі лазерного випромінювача, а також від часу опромінення. Вибрано оптимальне джерело випромінювання (гелій – неоновий лазер ГН – 40 – 1 з довжиною хвилі 0,63 мкм та потужністю 45 мВт). Вид гелій – неоновий лазер представлений на рис.1.4.

Визначено оптимальний час опромінення – 15 хв. До безперечних переваг методу лазерного опромінення мастил слід віднести ефект "пам'яті", тобто збереження поліпшених трибологічних властивостей масла в часі. Залежно від типу оливи, потужності лазера та часу опромінення, збереження покращених трибологічних властивостей оливи у часі може тривати до 100 годин [2].

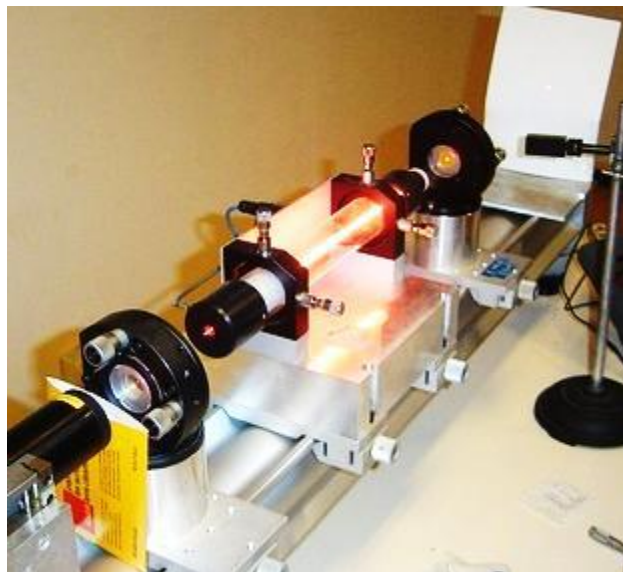


Рис. 1.4. Гелій – неоновий лазер ГН – 40 – 1

Були проведені випробування на машині тертя зразків пар тертя, змащених маслом, опроміненим лазером. Зафіксовано зниження зносу пар тертя до 28%. Однак висока вартість лазерів, складність конструкції та висока енергоємність пристроїв для опромінення мастила лазерним випромінюванням перешкодили прикладному застосуванню запропонованого способу. В останні роки з'явилися роботи, присвячені питанню покращення технологічних властивостей нафтопродуктів, і, зокрема, мастил, за допомогою обробки їх ультразвуком.

Робота присвячена питанням впливу ультразвуку на нафтові системи підвищення ефективності нафтопереробки. Розглянуто, зокрема, використання ультразвукової обробки нафти на поточній ультразвуковій установці ГПР-1 для покращення реологічних властивостей нафти Лузанівського родовища. У результаті роботи установки динамічна в'язкість нафти знижується на 45%, а температура застигання на 70С. У цьому реологічні характеристики обробленої нафти зберігаються протягом багато часу. Гідродинамічна ультразвукова обробка нафти сприяє запобіганню відкладень важких асфальто-смолянистих речовин на стінках насосно-компресорних труб. Також проведено дослідження та запропоновано промисловий метод ультразвукової обробки для зневоднення та знесолення нафти. У статті [5] наведено результати дослідження впливу ультразвуку певної частоти на колоїдну стабільність, нейтралізуючі та в'язкі властивості колоїдних систем мастильних матеріалів при різній тривалості впливу. Запропоновано пояснення ультразвукового впливу на властивості високолузних детергентів із позиції фізико-хімічної механіки нафтових дисперсних систем. Рекомендовано дотримання превентивних заходів та застосування засобів захисту з метою мінімізації потенційного ризику негативних наслідків для здоров'я працюючих, що викликаються ультразвуковою обробкою для збільшення колоїдної стабільності та зниження в'язкості мастил.

У роботах [5-7] представлені результати досліджень спрямованих на пошук шляхів підвищення ефективності ультразвукового кавітаційного впливу

на хіміко-технологічні процеси в дисперсних системах з несучим високов'язким середовищем. Результати проведених досліджень дозволяють виконати розробку ефективних п'єзоелектричних перетворювачів малих розмірів та підвищеної потужності. Обмежені розміри п'єзоелементів, що виробляються промисловістю (діаметром не більше 50-70 мм) не дозволяють створювати п'єзоелектричні перетворювачі необхідної потужності. Тому є доцільним застосування кількох п'єзоелектричних перетворювачів, об'єднаних загальною випромінюючою накладці. Конструктивні схеми трьох, чотирьох та семи пакетних п'єзокерамічних перетворювачів (на основі п'єзоелементів типорозміру 50(70)x20x6 мм) потужністю понад 3000, 4000 та 7000 Вт показані на рис. 1.5.



Рис. 1.5. П'єзокерамічні перетворювачі

Створені п'єзоелектричні перетворювачі здатні забезпечити живлення випромінювачів із збільшеною поверхнею випромінювання та забезпечити введення в технологічні середовища необхідних енергій ультразвукових коливань. Створення, на основі нових знань про кавітаційний вплив у дисперсних системах забезпечило можливість прискорення різноманітних технологічних процесів у промислових умовах. У патенті на винахід 2055863 [8] запропонований спосіб ефективною регенерації моторних масел, заснований на ультразвуковій кавітаційній обробці з подальшою фільтрацією для очищення від механічних домішок та води та нейтралізації кислотної оливи, а також установка для його реалізації.

Результати зміни фізико-хімічних показників моторного масла, що пропрацювало в дизелі КамАЗ-740 протягом 10702 мото-годин і багаторазової ультразвукової гідродинамічної обробки на запропонованій установці, наведені в табл. 1.3. Таким чином, ультразвукова установка гомогенізує відпрацьоване

масло, забезпечуючи тонке диспергування механічних домішок у ньому, після чого здійснюється якісне та недороге фільтрування та нейтралізація. Пропонована установка може бути виконана як у стаціонарному, так і мобільному варіанті. Габарити установки та технологія регенерації дозволяють використовувати її на місці споживання оливи (в автогосподарстві, у машинно-тракторному парку, на польових станах при сівбі та збиранні). В установці не використовуються вузли, механізми або пристрої з частинами, що рухаються (обертаються), що підвищує безпеку та надійність установки.

Таблиця 1.3 – Результати зміни фізико-хімічних показників моторного масла

Характеристика	Фізико-хімічні показники		
	Моторне масло М-10-Г _{2г}	Відпрацьоване масло М-10-Г _{2г}	Регеноване масло М-10-Г _{2г}
Кінематична в'язкість При 100 ⁰ СсСт	11±0,5	15,3	11,8
Масова доля %, механічних домішок	Не більше 0,015	2,06	Відсутні
Масова доля води %	сліди	1,3	Відсутні
Лужне число, мг КОН/г	6,0	1,2	7,2
Температура спалаху ⁰ С	200	185	215

Розглянуто застосування ультразвукового опромінення для покращення ефективності технологічних водно-графітних мастил. Об'єктом дослідження було водно-графітове мастило ОГВ-75. Обробку ультразвуковими коливаннями концентрату мастила ОГВ-75, розведеного водою у співвідношенні 1:10, проводили генератором Альфа-Біотон з робочою частотою 50-300 Гц і амплітудою коливань 0,5-3,0 мм. Час обробки склав 30, 60 та 90 хв. Для порівняння результатів застосовували також мастило без віброобробки. У дослідженнях застосовувалися непрямі методи визначення коефіцієнта тертя:

- за бочкоподібністю зразка після опади (метод С.І. Губкіна);

- за результатами опадів кільцевих зразків певної геометрії (метод А.Т. Мейла, М.Г. Кокрофта).

Як вихідний матеріал зразків була обрана сталь 35. Циліндричні зразки (для методу С.І. Губкіна) мали розміри $D_0 = H_0 = 35$ мм. У кільцевих зразках зовнішній і внутрішній діаметри дорівнювали відповідно 72 і 36 мм, висота – 24 мм. Осадкові плити були виготовлені зі сталі 5ХНМ. Заготівлі партіями по 5 штук нагрівали до температури $1050^{\pm 10}$ °С. Змащення на осадкові плити наносилося ручним пневматичним розпилювачем протягом трьох секунд з відстані 250 мм від осі під кутом 300 до площини. Заготівлі осаджували на кривошипному пресі силою 0,16 мН зі ступенем деформації = 50%. Зміна значень коефіцієнтів тертя для змащування ОГВ-75 при обробці ультразвуковими коливаннями наведено в табл. 1.4 [9].

Таблиця 1.4 – Зміна значень коефіцієнтів тертя при ультразвуковій обробці

№ п/п	Віброобробка мастила		Коефіцієнт тертя μ	
	Частота обробки Гц	Час обробки, хв	По методу Мейла-Кокрофта	По методу Губкіна
1	Отсутствует	Отсутствует	0,30	0,38
2	100	30	0,28	0,37
3	100	60	0,21	0,32
4	100	90	0,21	0,31

В результаті експериментів встановлено, що обробка мастила ОГВ-75 ультразвуковими коливаннями частотою 100 Гц протягом 60 хвилин знижує коефіцієнт тертя на 30% за методом кільцевих зразків і на 16% за методом С.І. Губкіна [11].

У роботі проведено дослідження автомобільних моторних масел виробництва ТНК: мінерального – SAE 15W40; напівсинтетичного – SAE 10W40 та синтетичного – SAE 5W40. На основі експериментальних досліджень виявлено ефект залишкової в'язкості, що полягає в тому, що в'язкість свіжого моторного масла, прогрітого до однієї і тієї ж температури термічно і нагрітого

ультразвуком, має різне значення і надалі в міру остигання, змінюється різним чином. Встановлено механізм формування ефекту залишкової в'язкості на основі уявлень про формування в обсязі моторної оливи стоячих хвиль при дії на неї ультразвуку. Запропоновано принцип роботи приладу на основі ефекту залишкової в'язкості для контролю та прогнозування процесу обкатки ДВЗ. Обґрунтовано основні робочі параметри приладу для контролю та прогнозування процесу обкатки ДВЗ. На основі експериментальних та теоретичних досліджень встановлено, що максимальне значення ефекту залишкової в'язкості досягається при питомій інтенсивності випромінювання ультразвуку $I_y = 0,33 \text{ Вт/см}^3$, частоти випромінювання в межах $(0,5 \cdot 10^5 \text{ Гц} \leq \nu \leq 3,0 \cdot 10^5 \text{ Гц})$, і температурах в межах $(230\text{C} \leq t \leq 270\text{C})$, залежно від марки оливи.

Створено дослідний зразок приладу на основі ефекту залишкової в'язкості контролю та прогнозування процесу обкатки ДВЗ. Він визначає інформаційний параметр Δt (час падіння робочого тіла в шарі оливи) з точністю до 0,01 с, споживана потужність приладу становить не більше $W = 200 \text{ Вт}$. Пристрій відрізняється простотою і зручністю користування, обсяг проби оливи становить $12 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ час вимірювання не перевищує 30 хв, не надає руйнівного впливу на пробу масло, після вимірювань масло повертається в двигун. Схему установки наведено на рис. 1.6. Розроблено методику застосування приладу на основі ефекту залишкової в'язкості для контролю та прогнозування процесу обкатки ДВЗ. Методика включає визначення Δt при 200 км і 600 км пробігу автомобіля при обкатці. Встановлено, що при пробігу $S = 200 \text{ км}$ можна контролювати процес обкатки за інформаційним параметром Δt . Для автомобіля УАЗ – 39621 з двигуном УМЗ – 421 та моторної оливи 15W40, цей час має потрапляти в інтервал $(0,24 \text{ сек} \leq \Delta t \leq 0,25 \text{ сек})$. Для інших марок масел та типів двигуна допустимий інтервал Δt визначається експериментально. Проведено виробничі випробування щодо застосування створеного приладу для контролю та прогнозування процесу обкатки ДВЗ, що підтвердили високі експлуатаційні параметри дослідного зразка.

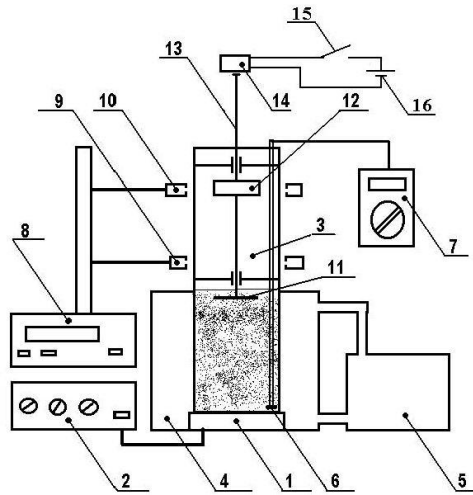


Рис. 1.6. Схема установки: 1 – випромінювач ультразвуку; 2 – ультразвуковий генератор УТП – 1; 3 - колба з досліджуваним маслом; 4 – термостатована комірка; 5 – термостат MLW-EB; 6 - терморезистор (М9К1В 9104); 7 – мультиметр М – 832; 8 – електронний секундомір FPM-02; 9 – нижній світлодіод; 10 – верхній світлодіод; 11 – плоске робоче тіло; 12 – екран; 13 - шток (жорстка вісь); 14 – електромагніт; 15 – ключ; 16 – джерело живлення

Питання поліпшення експлуатаційних властивостей моторних масел торкається статті. У роботі відзначається позитивний вплив ультразвукової обробки на миючі та протизносні властивості моторних масел при дотриманні наступних вимог для вибору акустичної апаратури:

- Потужність ультразвуку в межах 9...50 кВт/м²;
- випромінювачі установки повинні стійко працювати при температурі 290...3730 К;
- частота коливань повинна бути мінімальною для ультразвуку, що забезпечує кавітацію при меншій потужності;
- час впливу ультразвуку на олию не повинен обмежуватися технічними можливостями апаратури;
- продуктивність установки повинна забезпечити обробку ультразвуком такої кількості оливи, яка буде потрібна для проведення лабораторних досліджень та експлуатаційних випробувань повнорозмірних двигунів. Однак у статті не наводяться результати конкретних досліджень, а

рекомендації мають лише загальний характер. Розглянемо застосування ультразвукової обробки моторного масла, як спосіб зниження зносу пар тертя, що змащуються [12]. У роботі наводиться опис обробки ультразвуком моторної оливи безпосередньо у випробувальній камері машини тертя СМТ-1. Обробка масла ультразвуком здійснювалася за допомогою УЗ генератора, що складається з блоку управління та високочастотного випромінювача (типу Т25.4), встановленого безпосередньо в мастилі. Вид випромінювача у відкритій випробувальній камері (до введення оливи) представлений на рис. 1.7

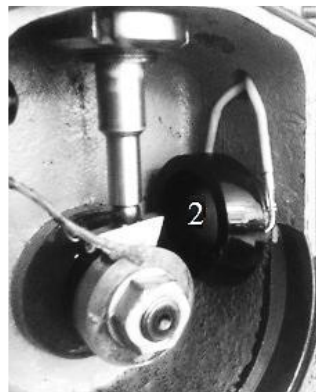


Рис. 1.7. Вид випромінювача у випробувальній камері: 2 - ультразвуковий випромінювач (динамік).

У випробувальній камері машини тертя проводилися приробіткові та тривалі зносостійкі випробування зразків тертя (ролик-колодка), змащених необробленим маслом та маслом, обробленим ультразвуком із частотою 17 кГц. В результаті приробіткових випробувань встановлено підвищення передзадирного навантаження на 4,3... 12,3%, а також зниження коефіцієнта тертя до 25% при дії на олію ультразвуком. В результаті порівняльного аналізу показників зносостійкості, отриманих в результаті тривалих зносних випробувань зразків, можна зробити висновок, що показник фактора зношування при обробці змащення ультразвуком із частотою 17 кГц зменшився на 22%. У роботі показано можливість використання способу зниження зносу вузлів тертя за рахунок обробки мастил ультразвуком, а також оцінено його ефективність. Загальним недоліком розглянутих вище робіт є відсутність досліджень залежності фізико-механічних параметрів рідких мастил від температури, від

параметрів ультразвуку (частоти, потужності) та часу обробки, а також від розташування джерела ультразвуку. Слід визнати також, що на сьогоднішній день відсутня однозначна теорія механізму впливу ультразвукових хвиль на мастильний матеріал та поверхню вузлів тертя, а ефект покращення мастильних здібностей оливи під впливом ультразвукової кавітації наводиться як "даність", без пояснення фізичних основ процесу [2].

1.2. Мета та завдання досліджень

На підставі проведеного аналізу було сформульовано мету та завдання досліджень. Мета роботи провести обґрунтування параметрів ультразвукової обробки моторної оливи для зменшення інтенсивності зношування пар тертя. Згідно зі сформульованою темою необхідно виконати наступні завдання:

1. Провести аналіз заходів по зменшенню інтенсивності зношування пар тертя дизельних двигунів;
2. Розробити програму і методику експериментальних досліджень;
3. Провести порівняльні випробування.

Висновки по розділу

Ґрунтуючись на аналізі реалізацій існуючих способів зниження зношування агрегатів дизельних двигунів, а також роботи різного типу пристроїв для електростатичної, магнітної, електромагнітної, променевої, лазерної та кавітаційної обробки моторного масла, можна констатувати наступне:

1. Оскільки конструкція більшості сучасних двигунів доведена практично до досконалості, то прогнозоване поліпшення зносостійкості їх агрегатів може бути досягнуто майже виключно за рахунок науково обґрунтованих програм експлуатаційних заходів, а також за рахунок удосконалення процесів обробки

моторних масел за допомогою енергетичних впливів, що дозволяють поліпшити трибологічні властивості олій.

2. Існуючі рішення в галузі енергообробки моторних масел носять несистематизований характер, при цьому найчастіше, при застосуванні того чи іншого способу обробки, просто констатується підвищення зносостійкості агрегатів двигунів без пояснення фізичних основ процесів обробки.

3. Всі пропонувані рішення використовують лише окремі ефекти, що реалізуються за різних способів обробки моторного масла. Зокрема, при ультразвуковій обробці моторної оливи не виявлено фізичні основи процесів зміни властивостей оливи, та не визначено оптимальних режимів функціонування пристрою для обробки моторної оливи та параметрів ультразвуку, у тому числі частоту та потужність випромінювання, а також час обробки. Тому, обрана тема дисертаційної роботи «Зниження зношування агрегатів дизельних двигунів мобільної сільгосптехніки ультразвуковою обробкою моторного масла» є актуальною.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ НА МАШИНІ ТЕРТЯ ПРИ ОБРОБЦІ МОТОРНОЇ ОЛИВИ УЛЬТРАЗВУКОМ

Контрольні триботехнічні випробування проводились на модернізованій машині для випробування матеріалів на тертя та знос 2070 СМТ-1М, представленої на рис. 2.1. Прототипом модернізованої машини була машина тертя 2070 СМТ-1 виробництва ЗАТ «Точприлад». Технічні характеристики СМТ-1М: частота обертання валу $75\text{...}1500 \text{ хв}^{-1}$ (похибка – 3%); межі вимірювання моменту тертя пари від 1 до 20 Н·м (з похибкою вимірювання – 1%); межі вимірювання зусиль на зразки від 0,2 до 5 кН, похибка вимірювача – 1%; межі вимірювання температури поблизу зони контакту зразків від 20 до 155 °, похибка вимірювання T_0 - 1,5%.

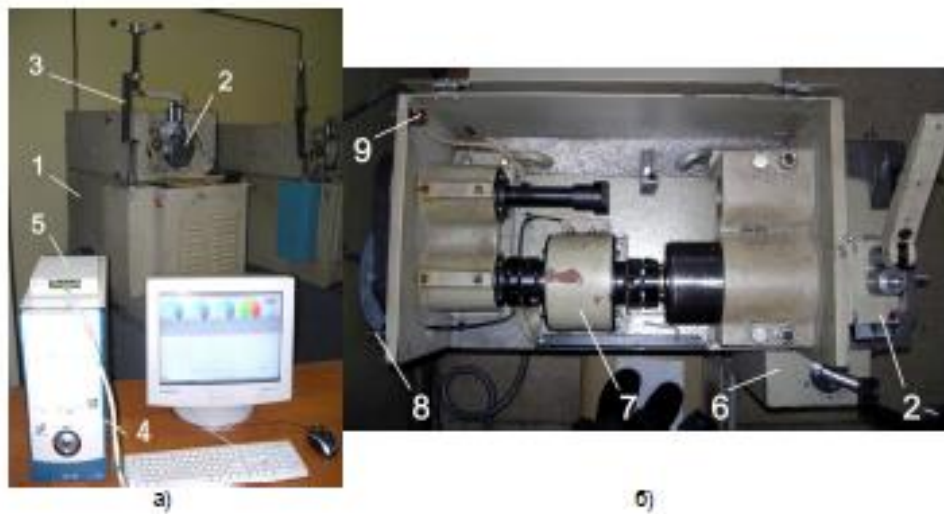


Рис. 2.1. Загальний вигляд (а) модернізованої машини 2070 СМТ-1 та основні елементи її системи автоматизації (б): 1 – станина; 2 – камера випробувальна; 3 – механізм навантаження; 4 – комп'ютер із платою збору даних NI 6040E (PCI-MIO-16E-4); 5 – комутатор NI SCB-68; 6 – датчик зусилля; 7 – датчик моменту тертя ДІН; 8 – датчик частоти обертання та числа обертів валу нижнього зразка; 9 – датчик положення кожуха.

Модернізація машини СМТ-1 полягає в установці електронного блоку оперативного збору та аналого-цифрового перетворення даних від датчиків

вимірювання: частоти обертання валу нижнього зразка, зусилля, моменту тертя та температури, що є комутатором для підключення СМТ-1 до ПК. Встановлене програмне забезпечення на ПК дозволяє оперативно аналізувати інформацію в режимі реального часу. Віртуальний прилад системи вимірювань (рис.2.1) дозволяє аналізувати динамічно надходить інформацію з різних об'єктів лицьової панелі: - цифрові поля (поточні значення зусилля, моменту тертя, температури та частоти обертання); - графіки зміни зусилля, моменту тертя, температури та частоти обертання у часі; - графіки залежності зусилля, моменту тертя, температури та частоти обертання кількості циклів (пройденого зразком шляху).

Вимірювання частоти обертання та сумарного числа оборотів рухомого зразка реалізуються шляхом програмної обробки імпульсного сигналу, що надходить від фото переривника.

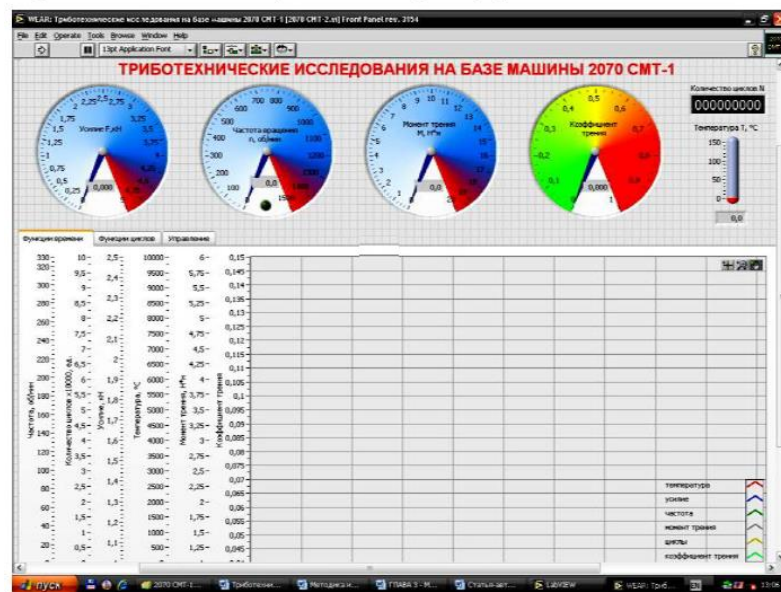


Рис. 2.2. Загальний вигляд віртуального приладу

Всі прилади були повірені, реєстрація показань проводилася за допомогою прикладного програмного забезпечення LabView компанії National Instruments. Похибка вимірювання сили тертя, температури, швидкості ковзання та навантаження відповідали вимогам ДСТУ Триботехнічні випробування проводилися відповідно до вимог ГОСТ 23.224-86 (експрес-випробування групи

«А»). Сутність експрес-випробувань – визначення співвідношення інтенсивностей зношування досліджуваних поверхонь, випробуваних за певних умов (оптимальному навантаженні). Випробування проводилися в три етапи: - попереднє притирання пар тертя проводилося при частоті обертання "ролика" $n = 300$ об / хв, навантаження на "колодку" $P = 0,1$ МПа. (протягом 40 хв.); - приробітні випробування; - тривалі випробування визначення зносу зразків. Матеріал зразків пар тертя (ролик-колодка): - ролик - сталь інструментальна штампова легована Х12Ф1 ДСТУ 5950-2000; - Колодка-чавун сірий СЧ-21. Зразки були попередньо оброблені таким, щоб контурна поверхня їх взаємного прилягання при встановленні на машині тертя становила не менше 95% номінальної розрахункової поверхні контакту. Як мастильний матеріал при випробуваннях використовувалося масло моторне «ZIC X7 Diesel» 10W-40 синтетичне. Було встановлено режим разової подачі мастила в картер випробувальної камери забезпечення граничної мастила. У процесі триботехнічних випробувань зразків масло піддалося обробці ультразвуком із частотою 8, 12 та 17 кГц та потужністю 25Вт.

Вигляд виготовлених зразків представлений на рис. 2.3.

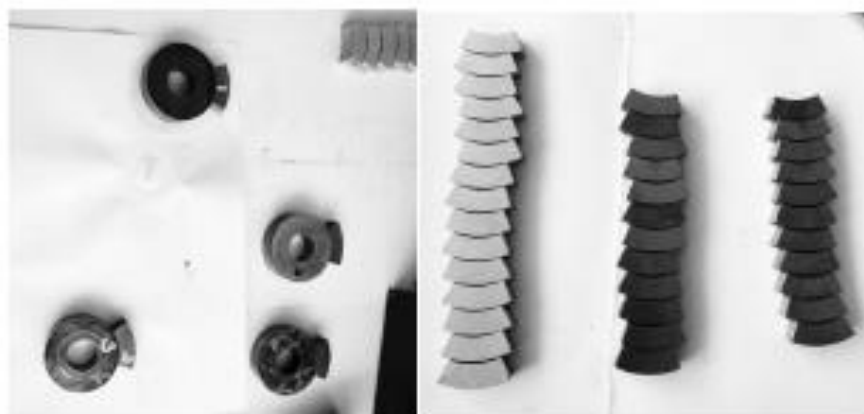


Рис. 2.3. Ролики з колодками (а) та колодки (б)

Загальний вигляд випробувальної камери (у відкритому стані), блоку управління ультразвуковими коливаннями та випромінювача ультразвуку наведено на малюнку 2.3 а. Високочастотний випромінювач типу Т251.4 розташований безпосередньо в оливи у випробувальній камері машини тертя

(рис. 2.3 б). Випробування на спрацювання пар тертя проводилося відповідно до методичних вказівок РД 50-662-88. При постійній швидкості обертання «ролика» поступово збільшувалося навантаження на «колодку» і визначалося максимальне передзадирне навантаження P_{mn} , при якому починалося схоплювання зразків. Після цього проводилося розвантаження пар тертя і визначалося оптимальне навантаження P_{on} , коли коефіцієнт тертя мінімальний f_{min} . Результати випробувань заносилися до таблиці, будувався графік функції $f(P)$, звідки визначалася $f_{min}(P_{on})$.

Випробування на оброблюваність пар тертя проводилися:

- з мастилом не обробленим ультразвуком;
- зі змащенням обробленим ультразвуком з $F = 8$ кГц та $P = 25$ Вт;
- зі змащенням обробленим ультразвуком з $F = 12$ кГц та $P = 25$ Вт;
- зі змащенням обробленим ультразвуком з $F = 17$ кГц та $P = 25$ Вт.



Рис. 2.4 а – Загальний вигляд випробувальної

Рис. 2.4 б – Високочастотний випромінювач камери типу Т251.

Тривалі зносні випробування пар тертя, проводилися при заданій частоті обертання «ролика» ($n = 380$ хв⁻¹) та оптимальному навантаженні P_{on} , отриманій за результатами випробувань приборітків. Тривалі зносні випробування пар тертя, проводилися при заданій частоті обертання «ролика» ($n = 380$ хв⁻¹) і оптимальному навантаженні P_{on} , отриманій за результатами випробувань. Тривалість зносних випробувань – 8 годин. Після тривалих зносних випробувань рухливі та нерухомі зразки промивалися в ультразвуковій ванні, і після сушіння

зважувалися на аналітичних вагах фірми «Sartorius»(Німеччина) з точністю вимірювання 0,00001 г у п'ятикратній повторності. До початку та після закінчення випробувань на прироблюваність та тривалих зносних випробувань з робочих поверхонь зразків знімалися профілактограми зносу за допомогою профілактографа-профілометра фірми «ТейлорХобсон» (Англія) (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Профілограф-профілометр фірми «ТейлорХобсон (Англія)

Профілограми зносу використовувалися визначення змін параметрів шорсткості в процесі випробувань. Дані про маси зразків до та після випробувань заносилися до протоколу випробувань. Інтенсивність зношування рухомих та нерухомих зразків пар тертя визначалася за формулою:

$$I = \frac{W}{N \cdot l}, \quad (2.1)$$

де W -лінійний знос зразка, м; l -лінійний розмір поверхні тертя сполученого зразка в напрямку ковзання, м; N -число циклів, за кожен цикл поверхні тертя зразка проходять шлях l .

Лінійне знос зразка W визначається за формулою:

$$W = \frac{\Delta G}{\gamma \cdot F_c}, \quad (2.2)$$

де ΔG - зміна маси зразка при випробуванні, кг; γ – щільність матеріалу, кг/м³; F_c -контурна площа контакту зразків, м².

Інтенсивність зношування пари загалом визначалася як сума інтенсивностей зношування елементів пари (ролика та колодки).

Порівняльна оцінка інтенсивності зношування проводилася за показником фактора зношування:

$$\Phi = \frac{I\Sigma}{P_{on}}, \quad (2.3)$$

де $I\Sigma$ - сума інтенсивностей зношування елементів пари; P_{on} - оптимальне навантаження, МПа.

Тривалі зносні випробування пар тертя, проводилися: - з мастилом, не обробленим ультразвуком; - зі змащенням, обробленим ультразвуком з $F = 17$ кГц та $P = 25$ Вт.

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи розроблена методика проведення триботехнічних випробувань на машині тертя при обробці моторної оливи ультразвуком.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати визначення вагового зносу зразків при тривалих зносних випробуваннях наведені. Профілограми шорсткості зразків до і після зносних випробувань і таблиці шорсткостей наведені (по три значення кожного значення навантаження P). Графіки залежності середньоарифметичних значень моменту тертя M від навантаження P у режимі підвищення навантаження наведено на рис. 3.1 та 3.2. Графіки залежності середньоарифметичних значень коефіцієнта тертя f від навантаження P у режимі підвищення навантаження наведено на рис. 3.3 та 3.4.

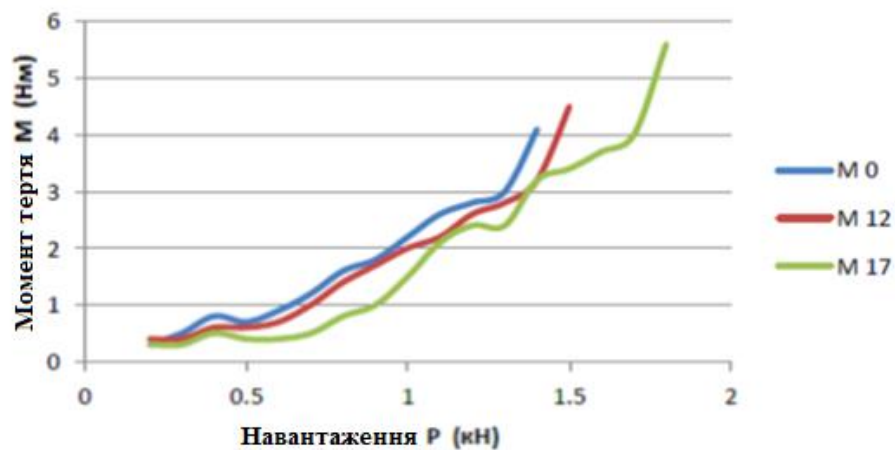


Рис. 3.1. Графік залежності моменту тертя M від навантаження P у разі підвищення навантаження: M_0 — крива без обробки ультразвуком; M_{12} — крива при обробці ультразвуком із частотою 12 кГц; M_{17} — крива при обробці ультразвуком із частотою 17 кГц

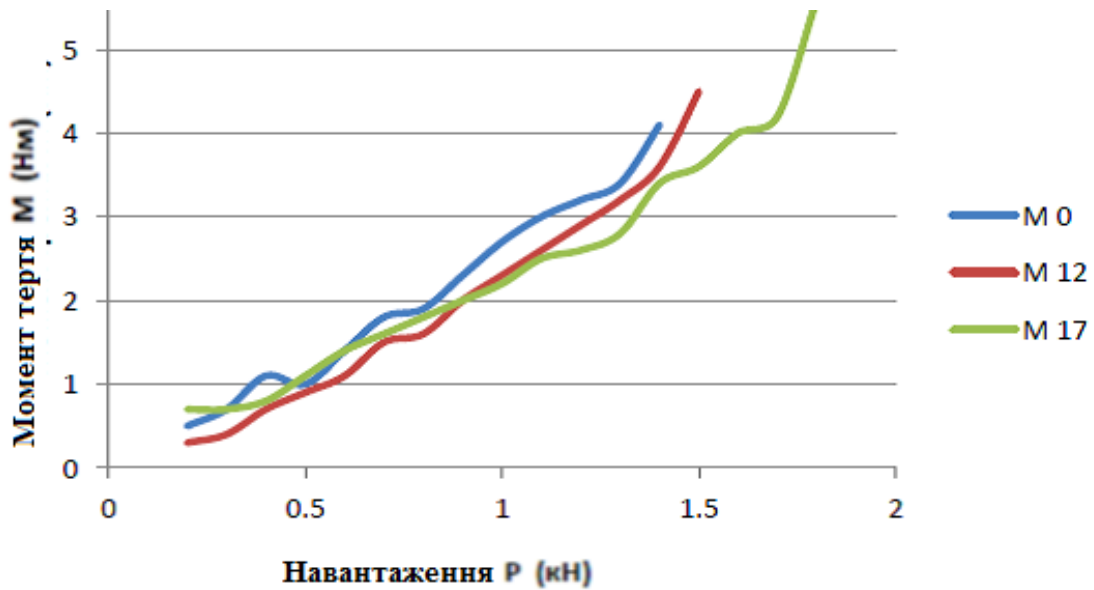


Рис. 3.2. Графік залежності моменту тертя M від навантаження P при зниженні навантаження: M_0 - крива без обробки ультразвуком; M_{12} – крива при обробці ультразвуком із частотою 12 кГц; M_{17} – крива при обробці ультразвуком із частотою 17 кГц.

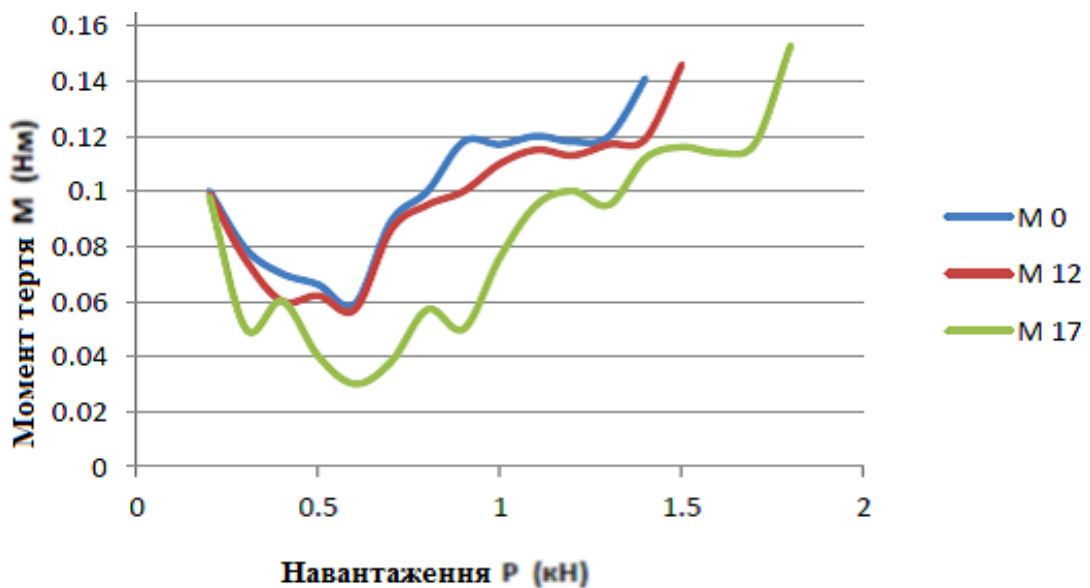


Рис. 3.3. Графік залежності коефіцієнта тертя f від навантаження P у разі підвищення навантаження: f_0 – крива без обробки ультразвуком; f_{12} – крива при обробці ультразвуком із частотою 12 кГц; f_{17} - крива при обробці ультразвуком із частотою 17 кГц.

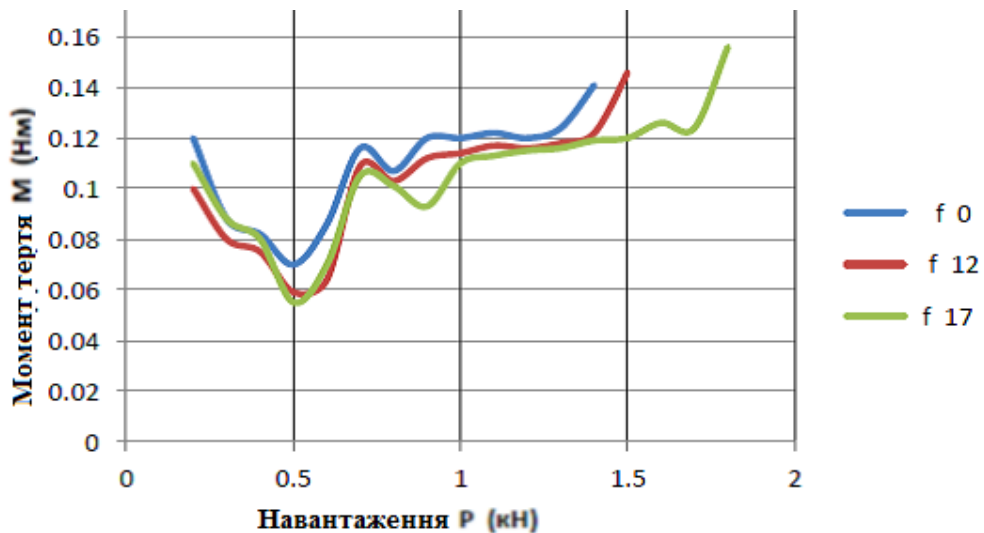


Рис. 3.4. Графік залежності коефіцієнта тертя f від навантаження P при зниженні навантаження: f_0 - крива без обробки ультразвуком; f_{12} – крива при обробці ультразвуком із частотою 12 кГц; f_{17} – крива при обробці ультразвуком із частотою 17 кГц

На наведених рисунках залежності для частоти (F) - 8кГц не представлені, так як при обробці оливи ультразвуком з F - 8 кГц значення M і f практично ідентичні значенням M і f без обробки оливи. Аналіз отриманих даних дозволив визначити максимальне передзадирне навантаження $P_{м.п.}$, при якій спостерігалось різке зростання моменту та коефіцієнта тертя, а також оптимальне навантаження $P_{оп.}$, при якому спостерігається локальне зниження коефіцієнта тертя f_{min} (локальний мінімум).

Таблиця 3.1 – Підсумкові результати випробувань припрацювання

Частота ультразвука, кГц	$P_{м.п.}$, кН (МПа)	$P_{оп.}$, кН (МПа)	f_{min}
0	1,4 (9,33)	0,8 (5,33)	0,107
8	1,4 (9,33)	0,8 (5,33)	0,108
12	1,5 (10,0)	0,8 (5,33)	0,103
17	1,8 (12,0)	0,9 (6,00)	0,093

Порівняльний аналіз даних табл. 3.1 показав таке:

- при обробці оливи ультразвуком з $F = 17$ кГц передзадирне навантаження збільшилося на 22,2%, коефіцієнт тертя f_{\min} зменшився на 13,1%, а відповідне йому оптимальне навантаження збільшилося на 12,5% порівняно з випробуваннями з використанням необробленого ультразвуком оливи;
- при обробці оливи ультразвуком з $F = 12$ кГц передзадирне навантаження збільшилося на 6,5%, а коефіцієнт тертя зменшився на 3,6%, при цьому відповідне йому оптимальне навантаження не змінилося порівняно з випробуваннями з використанням оливи, необробленої ультразвуком.
- при обробці оливи ультразвуком з $F = 8$ кГц передзадирне навантаження, коефіцієнт тертя та відповідне йому оптимальне навантаження практично не змінилися.

Профілограми поверхонь тертя знімалися для зразків пар тертя до і після випробувань без обробки оливи та при обробці оливи ультразвуком сF-17 кГц. Зняті показники шорсткості робочих поверхонь (показник нерегулярної шорсткості поверхні Ra і показник висоти піків мікронерівності поверхні R_{max}) для зразків, що проходять випробування, до і після випробувань наведені в табл. В. 1. Аналіз філограм до та після випробувань на припрацьовуваність показує, що спостерігається зниження значення параметра шорсткості Ra для всіх зразків: за відсутності обробки ультразвуком оливи – на 4,7 % та 12,6 %; при обробці ультразвуком оливи на частоті 17 кГц – на 50% та 78,2% для ролика та колодки, відповідно. При цьому відбувається збільшення параметра R_{max} для нерухомих зразків (колодок), що свідчить про наявність захоплення (передзадирного стану) матеріалів зразків. Так для колодки після випробування на оброблюваність при обробці оливи ультразвуком на 17 кГц параметр R_{max} збільшився в 1,84 рази, а для нерухомого зразка без обробки збільшення становило 1,1 раза. Більше значення R_{max} для нерухомого зразка, випробуваного при обробці оливи ультразвуком, пов'язане з досягненням попереджувального задиря при більшому навантаженні порівняно зі зразком, випробуваним без обробки оливи. При аналізі результатів випробувань встановлено таке:

1) Визначено оптимальні значення параметрів ультразвукового випромінювання (частота 17 кГц при потужності джерела ультразвуку 25 Вт), що впливає на моторне масло, при яких істотно поліпшувалася зносостійкість пар тертя в режимі граничного мастила (передзадирне навантаження збільшилося на 22,2% на 13,1%, оптимальне навантаження збільшилося на 12,5%).

2) Визначено оптимальні значення параметрів ультразвукового випромінювання (частота 17 кГц при потужності джерела ультразвуку 25 Вт), що впливає на моторне масло, при яких істотно поліпшувалася зносостійкість пар тертя, що випробовуються, в режимі граничного мастила (передзадирне навантаження збільшилося на коефіцієнт 22,2% на 13,1%, оптимальне навантаження збільшилося на 12,5%).

3) Спостерігається зниження значення параметра шорсткості Ra , при цьому за відсутності обробки ультразвуком оливи – на 4,7% та 12,6%; при обробці ультразвуком оливи на частоті 17 кГц – на 50% та 78,2% для ролика та колодки, відповідно. При цьому для колодки після випробування на оброблюваність при обробці оливи ультразвуком частотою 17 кГц параметр R_{max} збільшився в 1,84 рази, а нерухомого зразка без обробки - в 1,1 рази. Більше значення R_{max} для нерухомого зразка, випробуваного при обробці оливи ультразвуком, пов'язане з досягненням попереджувального задиря при більшому навантаженні порівняно зі зразком, випробуваним без обробки оливи. Не виключено, однак, що акустична кавітація в моторному маслі могла брати участь у формуванні поверхонь тертя ролика і колодки, оскільки джерело ультразвукового випромінювання знаходилося безпосередньо в випробувальній камері. Виходячи з вищевикладеного, було прийнято рішення проводити тривалі зносні випробування з мастилом зразків, не обробленим ультразвуком і з мастилом, обробленим ультразвуком з частотою 17 кГц.

Тривалі зносостійкі випробування проводилися протягом 8 годин. Число циклів при випробуваннях без обробки мастила дорівнює 144487. Число циклів при випробуваннях з обробкою мастила ультразвуком дорівнює 144493.

Результати зважування зразків пар тертя до та після тривалих випробувань наведено у таблиці. Показники зносостійкості, оцінені за результатами тривалих зносних випробувань зразків, наведено у таблиці 3.2. Аналіз даних таблиці дозволяє зробити висновок про високу ефективність обробки моторного масла ультразвуком частотою 17 кГц при потужності генератора 25 Вт - середня маса зразків, що зношуються в необробленому маслі, щодо середньої маси зразків, що піддавалися зношуванню в обробленому ультразвуком маслі, менше на величину¹ для роликів та на 18,94% для колодок. Фотографії поверхонь пар тертя після тривалих зносних випробувань представлені на рисунках.

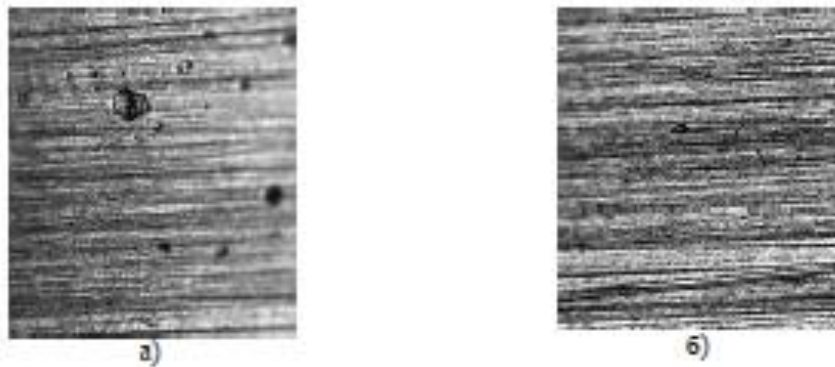


Рис. 3.5. Ролик після випробувань: а) без обробки оливи ультразвуком; б) з обробкою оливи ультразвуком частотою 17 кГц



Рис. 3.6. Колодка після випробувань: а) без обробки оливи ультразвуком; б) з обробкою оливи ультразвуком частотою 17 кГц

Відсутність слідів «задирів» і на колодці, і на ролику при обробці моторного масла ультразвуком свідчить про протікання процесу зношування при постійній присутності шару мастила між ними. Порівняльна оцінка

інтенсивності зношування при проведенні випробувань зразків пар тертя на машині тертя СМТ - 1М, проводилася за показником фактора зносу: Аналіз зміни показника фактора зносу Φ залежно від частоти обробки мастила показав, що ультразвукова (УЗ) обробка позитивно впливає на його зменшення, Що, швидше за все, пов'язано зі зниженням коефіцієнта поверхневого натягу мастила. Знижений, більш ніж на 5%, коефіцієнт поверхневого натягу «полегшує» формування масляного клина між поверхнями «ролика» і «колодки», що контактують у процесі зношування. При цьому рекомендованою частотою обробки для синтетичного мастила «ZIC X7 Diesel» 10W-40 може бути будь-яка частота з широкого діапазону 17...43 кГц. Порівняльний аналіз показників зносу при тривалих зносних випробуваннях зразків (табл. 3.2) показали, що фактор зносу при обробці синтетичного мастила ультразвуком з частотою 17 кГц зменшився на 28%.

Таблиця 3.2 – Оцінка показників зносостійкості

Зразок	Знос, г	Навантаження $P_{опт}$, МПа	Частота ультразвукової обробки кГц	Показники зносостійкості			
				I_p	I_H	I_Σ	Φ
Ролик	0,00148	5,3	-	$1,232 \cdot 10^{-11}$	$0,53 \cdot 10^{-9}$	$0,542 \cdot 10^{-9}$	$1,023 \cdot 10^{-10}$
Колодка	0,00132						
Ролик	0,00133	6,0	17,0	$1,107 \cdot 10^{-11}$	$0,43 \cdot 10^{-9}$	$0,441 \cdot 10^{-9}$	$0,735 \cdot 10^{-10}$
Колодка	0,00107						

На підставі вищесказаного у формулу (3.1) можна ввести поправний коефіцієнт для показника фактора зносу Φ з метою обліку обробки мастила ультразвуком на частотах більш ніж 17 кГц:

$$\Phi = 0,718 \frac{I_\Sigma}{P_{опт}}, \quad (3.1)$$

Ймовірно, що цей ефект буде спостерігатися для цілого ряду синтетичних мастил. Робочі поверхні зразків до тривалих зносних випробувань і після зазнавали профілактики з метою дослідження зміни параметрів шорсткості та визначення площі зносу в процесі випробувань. Профілограми поверхонь при тривалих зносних випробуваннях з УЗ обробкою оливи ($F = 17\text{кГц}$) представлені на рис. В. 1 і В. 2. Зняті показники шорсткості робочих поверхонь: показник нерегулярної шорсткості поверхні (R_a) і показник висоти піків мікронерівності поверхні (R_{max}) для зразків, що проходять випробування, до і після випробувань наведені в табл. В. 2. Порівнюючи профілактограми до та після тривалих зносних випробувань, можна зробити висновок про те, що спостерігається зниження значення параметра шорсткості R_a для колодок без обробки та з обробкою ультразвуком на 8,7% та 14,4% відповідно. Для роликів, випробуваних у маслі без обробки ультразвуком, простежується зростання даного параметра на 15,4% і зниження на 2,2% для роликів при випробуваннях мастила, оброблюваному ультразвуком. Параметр R_{max} підвищується всім пар тертя, випробуваних на зносостійкість без обробки ультразвуком: для колодки підвищення становить 1,26, для ролика – в 1,45 рази. Для пар тертя, випробуваних на зносостійкість з обробкою оливи ультразвуком, R_{max} для колодки знижується у 1,67 рази, для ролика – підвищується у 2,1 рази.

Зміна параметрів шорсткості при триботехнічних випробуваннях пов'язані зі складними процесами зношування, а також впливу фізико-механічних властивостей випробуваних матеріалів та зовнішніх впливів. При випробуваннях матеріалів, що мають різну мікротвердість, відбувається впровадження мікронерівності більш твердого матеріалу в м'який, що і призводить до зміни параметрів шорсткості пар тертя. Істотну роль процесі формування шорсткості поверхні грає роль навантаження P_{on} , що у необробленому маслі має величину 5,3 МПа, а обробленому – 6 МПа.

Висновки з третього розділу

В третьому розділі магістерської роботи представлено результати триботехнічних випробувань на машині тертя при обробці моторної оливи ультразвуком

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Випробування зразків пар тертя ("ролик"- "колодка") на прироблюваність на машині тертя 2070 СМТ-1М показали:

при обробці оливи ультразвуком частотою 8 кГц передзадирне навантаження коефіцієнт тертя, а також відповідне йому оптимальне навантаження не змінилися порівняно з випробуваннями з використанням оливи, необробленої ультразвуком; при обробці оливи ультразвуком частотою 12 кГц передзадирне навантаження% коефіцієнт тертя зменшився на 3,6%, при цьому відповідне йому оптимальне навантаження не змінилося порівняно з випробуваннями з використанням оливи, не обробленої ультразвуком.

при обробці оливи ультразвуком частотою 17 кГц передзадирне навантаження збільшилося на 22,2%, коефіцієнт тертя f_{\min} зменшився на 13,1%, а відповідне йому оптимальне навантаження збільшилося на 12,5% порівняно з випробуваннями з використанням оливи, не обробленої ультразвуком.

Тривалі зносні випробування зразків пар тертя ("ролик"- "колодка") на машині тертя 2070 СМТ-1М показали: показник фактора зносу при обробці мастила ультразвуком з частотою 17 кГц зменшився на 28% порівняно з необробленим ультразвуком мастилом, що дозволило скоригувати формулу визначення фактора зносу пар тертя при УЗ обробці синтетичного мастила і довести, що залежність показника фактора синтетичного мастила ультразвуком з частотами в діапазоні від 0 до 44 кГц формою повторює аналогічну залежність для коефіцієнта поверхневого натягу мастила.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прунько, І. Б., Богатчук, Ю. І., Студент М. М. Структура і залишкові напруження в поверхневому шарі сталі 40Х після електроіскрового оброблення електродами зі сплавів Т15К6 та ВК8. Наукові нотатки. Луцьк: Луцький національний технічний університет. 2009. С.255. 260.
2. Аулін, В. В., Гриньків, А. В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану транспортних засобів на основі теорії сенситивів. Науковий журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів". №5. Харків: ХНТУСГ, 2016. С. 109-116
3. Аулін, В. В., Лисенко, С. В., Кузик, О. В., Гриньків, А. В., Голуб, Д. В. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення. Монографія. Кропивницький : видавець Лисенко В.Ф., 2016. 304с.
4. Полянський А.С. Нормирование диагностических параметров элементов двигателя. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (технічні науки). 2017. Вип. 180. С. 142-148.
5. Полянський О.С. Зміна енергетичних параметрів двигуна в режимі роботи без навантаження при відключенні циліндрів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (технічні науки). 2018. Вип. 190. С. 152-161.
6. Полянський А.С. Совершенствование метода оценки технического состояния цилиндропоршневой группы. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 13. С. 27-32.
7. Подригало М.А. Применение модели многокомпонентного сложного движения для оценки энергетической эффективности автомобиля. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк: Луцький НТУ, 2017. №1(10). С. 73-78.

8. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Головатий А.О., Дьяченко В.О. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Technical service of agriculture, forestry and transport systems. 2020. №22. С. 162 - 174.
9. Ждановский Н.С. Диагностика автотракторных двигателей. Ленинград : Колос.1977. 264 с.
10. Колобов К.С. Вибір діагностичних параметрів для експресдіагностування дизелів. Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник. 2012. С. 175 – 178.
11. Канарчук В.Е. Диагностирование топливной системы дизеля по его тепловому излучению. Автомобильная промышленность. № 9. Москва : Машиностроение. 1986. С. 12 - 13.
12. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания. Учебник для вузов. Москва : Высшая школа, 1975. 320 с
13. Ждановский Н.С. Бестормозные испытания тракторных двигателей. Ленинград : Машиностроение, 1966. 178 с.
14. Жерновий А.С. Нові методи та засоби діагностування двигунів внутрішнього згорання. Автошляховик України. Вип. 3 Київ : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2006. С. 14 –16.
15. Канарчук В.Е. Экспресс-диагностирование двигателей инфракрасным радиометром. Автомобильная промышленность. № 4. Москва : Машиностроение, 1985. С. 21.
16. Воронин В.В. Анализ причинно-следственных отношений на множестве возможных дефектов. Информатика и системы управления. 2001. №1. С. 65-73.