

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Вплив мастильних матеріалів на довговічність
трибоспряжень двигунів внутрішнього згорання**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгМз-1-20

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Івашкович Микола Миколайович

Керівник: _____ Годяєв Сергій Георгійович

Рецензент: _____

ДНІПРО – 2022

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ЕМТП

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » 2021 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Івашковичу Миколі Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Вплив мастильних матеріалів на довговічність трибоспряджень двигунів внутрішнього згорання

керівник роботи Годяєв Сергій Георгійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 24 » січня 2022 року № 120

2. **Строк подання студентом роботи** 11.02.2022

3. **Вихідні дані до роботи** Огляд існуючих методів та засобів щодо підвищення довговічності рухомих спряджень. Огляд мастильних матеріалів та їх властивостей та характеристик. Аналіз сучасного стану досліджень обраного напрямку.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) Проаналізувати методи підвищення довговічності трибоспряджень. Провести огляд результатів наукових досліджень в даному напрямку. Обґрунтувати програму та навести обладнання і методики досліджень трибологічних властивостей мастильних матеріалів та величини зносу трибоспряджень. Встановити вплив моторного мастила різних марок на довговічність трибоспряджень. Проаналізувати температурні режими роботи рухомих з'єднань. Розглянути небезпечні та шкідливі фактори при роботі на машині для дослідження матеріалів на тертя та зношування. Розробити заходи для захисту працівників від вказаних факторів. Проаналізувати техніко-економічні показники роботи.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

Тема, мета та задачі досліджень. Огляд стану питання та обґрунтування актуальності роботи (4 аркуші, А4). 2. Обладнання для виконання досліджень (1 аркуш, А4) 3. Результати досліджень (3 аркуші, А4) 5. Техніко-економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Годяєв С.Г., доцент		
2	Годяєв С.Г., доцент		
3	Годяєв С.Г., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вініченко І.І., зав. каф., професор		
6			
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 10.11.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оглядовий	до 08.12.2021 р.	
2	Програма, методики та обладнання для досліджень	до 22.12.2021 р.	
3	Результати досліджень	до 26.01.2022 р.	
4	Охорона праці	до 02.02.2022 р.	
5	Економічний	до 10.02.2022 р.	
6	Демонстраційна частина	до 10.02.2022 р.	

Студент

_____ Івашкович М.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Годяєв С.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

[illegible]

УДК 622

АНОТАЦІЯ

Івашкович М.М. Вплив мастильних матеріалів на довговічність трибоспряджень двигунів внутрішнього згорання / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро. – 2022.

В дипломній роботі проаналізовано методи підвищення довговічності трибоспряджень. Проведений огляд результатів наукових досліджень в даному напрямку. Обґрунтовано програму та наведено обладнання і методики досліджень трибологічних властивостей мастильних матеріалів та величини зносу трибоспряджень. Встановлено вплив моторного мастила різних марок на довговічність трибоспряджень. Проаналізовано температурні режими роботи рухомих з'єднань. Розглянуто небезпечні та шкідливі фактори при роботі на машині для дослідження матеріалів на тертя та зношування. Розроблено заходи для захисту працівників від вказаних факторів. Наведено техніко-економічні показники роботи.

Ключові слова: трибоспрядження, довговічність, моторне мастило, величина зносу, властивості мастильних матеріалів, поверхні тертя.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	<u>8</u>
1. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ	<u>10</u>
1.1 Огляд методів підвищення довговічності рухомих спряжень	<u>10</u>
1.2 Аналіз наукових досліджень щодо підвищення довговічності поверхонь тертя	<u>12</u>
1.3 Огляд характеристик та властивостей олив представлених на ринку України	<u>14</u>
1.4 Обґрунтування теми дипломної роботи.....	<u>18</u>
2. ПРОГРАМА, МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	<u>20</u>
2.1 Завдання та програма досліджень	<u>20</u>
2.2 Методики та обладнання для дослідження трибологічних властивостей..	<u>21</u>
2.3 Методика та обладнання для визначення величини зносу трибоспряжень	<u>25</u>
2.4 Дослідження температури в зоні тертя	<u>26</u>
2.5 Дослідження поверхонь тертя	<u>27</u>
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	<u>29</u>
3.1 Результати дослідження трибологічних властивостей.....	<u>29</u>
3.2 Результати визначення величини зносу трибоспряжень	<u>33</u>
3.3 Результати дослідження температури в зоні тертя	<u>34</u>
3.4 Результати досліджень поверхонь тертя трибоспряжень	<u>36</u>
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	<u>41</u>
4.1 Загальні поняття та терміни	<u>41</u>
4.2 Основні небезпечні та шкідливі фактори при роботі на машині тертя	<u>41</u>
4.3 Розробка заходів щодо забезпечення захисту працівників від небезпечних та шкідливих факторів	<u>43</u>

4.4 Вимоги безпеки праці при виконанні робіт на машині СМТ-1	<u>44</u>
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	<u>47</u>
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	<u>52</u>
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	<u>54</u>
ДОДАТКИ	<u>57</u>

ВСТУП

Відомо, що дві третини відмов механізмів пов'язано саме із зносом деталей та механізмів. В свою чергу процес зношування повністю ліквідувати неможливо. Тому, основною задачею при створенні механізмів та машин є підвищення довговічності трибоспряжень. Для досягнення бажаного ефекту використовують такі основні методи підвищення довговічності: технологічні, конструкторські та експлуатаційні. Серед методів, що мають невелику собівартість значного розповсюдження набуло використання різноманітних мастильних середовищ, в тому числі спеціально оброблених та введення різноманітних модифікаторів тертя.

Сьогодні, кожен виробник моторних мастил використовує певний набір присадок, які повинні сприяти зменшенню сили тертя, захисту поверхонь від корозії, відведення продуктів зносу та інші властивості. Основними перевагами моторних мастил, зазвичай називають зменшення сил тертя при роботі ДВЗ, відсутність вигорання мастила, здатність до захисту поверхонь від пошкоджень та ін. Кожен виробник мастила для ДВЗ позиціонує свою продукцію, як еталон, що дозволяє найкраще захистити трибоспряження від інтенсивного зношування та підвищити їх довговічність. При цьому, вартість моторних мастил одного класу в'язкості може відрізнятись в декілька разів. Тому, для визначення реальної ефективності мастила необхідно виконувати дослідження його показників тільки за допомогою спеціального обладнання та устаткування.

Тому, метою дипломної роботи є встановлення впливу мастильного середовища на довговічність трибоспряжень.

Задачі дипломної роботи:

1. Проаналізувати основні методи підвищення довговічності трибоспряжень, їх переваги та недоліки. Розглянути стан наукових досліджень в обраному напрямку. Навести основні характеристики та властивості популярних моторних мастил в Україні.

2. Навести методики та обладнання для дослідження властивостей мастильних матеріалів.
3. Визначити вплив моторних мастил різних виробників на режими тертя та довговічність трибоспряжень.
4. Визначити потенційні небезпечні та шкідливі фактори при роботі із машинами для дослідження матеріалів на тертя та зношування. Розглянути правила безпеки виконання робіт при проведенні експериментальних досліджень.
5. Навести техніко-економічний аналіз результатів дипломної роботи.

1. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ

1.1 Огляд методів підвищення довговічності рухомих спряжень

Завданням щодо підвищення довговічності машин і механізмів займаються як наукові установи, так і приватні компанії. Пов'язано це з тим, що дві третини відмов механізмів пов'язано саме із зносом деталей їх трибоспряжень. В свою чергу процес зношування повністю ліквідувати неможливо. Пов'язано це насамперед із дією зовнішніх сил (сила тяжіння, вплив повітря, вологи та ін.) та із особливістю фізико-механічних характеристик та трибологічних властивостей матеріалів з яких виготовлені трибоспряження. Крім цього, при взаємодії двох тіл (терті) виникають електромагнітні поля, що впливають на процеси тертя. Більшість наукових досліджень направлені на зменшення величини зносу та інтенсивності зношування.

Для досягнення бажаного ефекту використовують такі основні методи підвищення довговічності: технологічні, конструкторські та експлуатаційні.

Технологічні методи підвищення довговічності реалізуються шляхом виготовлення елементів трибоспряжень зі стабільними розмірами, характеристиками та властивостями матеріалів, нанесенням зносостійких покриттів та зміцнення поверхневих шарів деталей. Якість виготовлення та стабільність розмірів, характеристик та властивостей деталей залежить від технологічного обладнання, що використовується та відповідністю технологічних режимів виробництва. Зміцнення поверхневих шарів можна виконувати шляхом виконання гартування матеріалів дією на них струмами високої частоти [1-2]. Одним із найбільш розповсюдженим методом для зміцнення поверхні деталей є виконання цементування – зміцнення шару сталі шляхом насичення його вуглецем [2-3]. Ці методи отримали найбільше розповсюдження в сфері технологічних методів підвищення довговічності

елементів трибоспряжень, що пов'язані із зміною характеристик та властивостей матеріалів, завдяки простоті реалізації та високої ефективності.

Іншими розповсюдженими способами підвищення довговічності рухомих спряжень є нанесення різноманітних покриттів на їх поверхню. Серед таких можна назвати наплавлення та напилення зносостійких матеріалів та композицій [4-6].

Крім названих методів підвищення довговічності значного розповсюдження набуло використання різноманітних мастильних середовищ, в тому числі спеціально оброблених [7, 8] та введення різноманітних модифікаторів тертя [9, 10].

В основі конструкторських методів підвищення довговічності деталей машин покладено використання матеріалів з підвищеною довговічністю та створення оптимальних умов мащення їх поверхонь. Вказані методи використовуються на стадії проектування та вдосконалення конструкцій трибоспряжень машин і механізмів. Саме вдосконалення конструкції, зокрема підшипників кочення, досягнуто високий рівень довговічності. Створення необхідних режимів тертя за рахунок удосконалення конструкцій ущільнювачів підшипників став основним шляхом різкого зростання їх довговічності. Крім цього для контролю якості поверхонь та відповідності їх геометричних форм у виробництві застосовують різноманітні установки, що виявляють відхилення від встановлених норм, і таким чином зменшують кількість браку виробництва.

Експлуатаційні методи підвищення довговічності полягають у відповідних режимах обкатки механізмів на початку експлуатації, дотриманні вимог системи технічного обслуговування (ТО), забезпечення оптимальних умов експлуатації. Саме експлуатаційні методи потребують значних затрат задля одержання бажаного ефекту щодо забезпечення та підвищення довговічності. При цьому, у випадку однакових за якістю виготовлення механізмів, найбільший вплив на довговічність має режим експлуатації. Тому, найбільш перспективними методами підвищення довговічності є комбінація конструкторсько-технологічних методів.

1.2 Аналіз наукових досліджень щодо підвищення довговічності поверхонь тертя

Нанесення спеціальних покриттів є одним із найменш витратним способом відновлення поверхонь та підвищення їх довговічності. Розглянемо основні відомі види покриттів та способи їх нанесення на поверхні або введення в зону тертя.

Одне із вагомих значень у підвищенні довговічності поверхонь тертя має спосіб заснований на нанесенні зносостійких матеріалів на робочі поверхні. Зазвичай такий спосіб реалізується для деталей та механізмів, що працюють в абразивних середовищах, наприклад робочі органи ґрунтообробних сільськогосподарських машин, різноманітні привідні вали, шестерні та ін. Перевагою такого методу є простота його реалізації та незначні витрати енергоресурсів та матеріалів. Проте, одним із серйозних недоліків цього способу є необхідність подальшого обробітку (точіння, різання, полірування нанесених покриттів поверхонь). У випадках наплавлення поверхонь робочих органів культиваторів, плугів чи дискових борін додаткового обробітку не виконують, проте існує необхідність нанесення зносостійких матеріалів за спеціальною схемою та технологією.

Напилення на поверхню різноманітних матеріалів дозволяє з високою точністю виконати контроль розмірів деталей та якості поверхні, що утворюється. Технологічний процес може бути, як з наступним оплавленням, так і без нього. Все залежить від шару матеріалу, який необхідно нанести (відновити) на поверхню деталі. В залежності від режимів роботи трибоспрямижень їх поверхні можна відновлювати різними методами.

При необхідності відновити товщину шару матеріалу величиною до 2 мм використовують метод газу полум'яного напилення матеріалу без подальшого його оплавлення. Крім цього такий спосіб доцільно використовувати у випадку відсутності знакозмінних навантажень та високих температур експлуатації (вище 340...360 °C).

У випадку коли величина зносу перевищує вказану величину необхідно виконувати додатково оплавлення нанесеного шару матеріалу (порошку) для підвищення адгезії основного матеріалу із нанесеним. Такий метод використовують для відновлення поверхонь виготовлених із чавуну, нержавіючих (на основі хромнікеля) та конструкційних сталей. Крім того відновлені деталі можуть працювати в умовах високих температур та за ударних навантажень.

Нанесення на поверхню необхідного матеріалу можна виконувати шляхом осадження його із розчину, пропускаючи через нього електричний струм – електроліз. Для нанесення на поверхні деталей використовують такі матеріали як, мідь, цинк, залізо та ін. Такий спосіб відновлення поверхонь доцільно використовувати у випадку необхідної товщини, що не перевищує 1...1,1 мм. Розрізняють холодне та гаряче осадження, яке відрізняється температурою розчину, який складається з соляної кислоти та розчину матеріалу для нанесення. При пропусканні електричного струму відбувається накопичення іонів матеріалу з розчину на поверхню катоду. В якості катоду використовують деталь, поверхню якої необхідно відновити.

Одним із напрямків підвищення довговічності трибоспрямижень є модифікація мастильного середовища шляхом його обробки магнітними чи електричними полями або введенням модифікаторів тертя. Дослідженнями встановлено [11, 12], що обробка мастила магнітними та електричними полями дозволяє підвищити зносостійкість поверхонь тертя ДВЗ на 30...50 % та значно зменшити коефіцієнт тертя, і як результат, і сили тертя.

Модифікатори тертя можуть мати різноманітне походження та способи їх введення в зону тертя. Одні з них можуть взаємодіяти з поверхнями тертя, та під дією сил і електромагнітних полів утворювати спеціальні покриття на поверхнях спряжень. Інші – виконують безпосередньо функцію модифікатора властивостей мастильного середовища без утворення різноманітних плівок чи поверхонь із модифікованими властивостями. При цьому, кожен виробник мастила використовує свій набір присадок, що повинні сприяти зменшенню

сили тертя, захисту поверхонь від корозії, відведення продуктів зносу та інші властивості. Тому, є актуальним огляд особливостей та властивостей мастильних матеріалів, на прикладі моторних олив. Кожен виробник моторного мастила заявляє про переваги свого продукту, у порівнянні з іншими виробниками. Основними перевагами моторних мастил, зазвичай називають зменшення сил тертя при роботі ДВЗ, відсутність вигорання мастила, здатність до захисту поверхонь від пошкоджень (задирів) та ін. При цьому, реальні характеристики та властивості таких матеріалів можна визначити тільки на основі проведених експериментальних стендових досліджень. Відповідно до отриманих результатів можна зробити обґрунтований висновок щодо ефективності мастил у захисті поверхонь тертя від зносу. Розглянемо декілька основних марок, що представлені на ринку України.

1.3 Огляд характеристик та властивостей олив представлених на ринку України

Будь яке моторне мастило складається із базового компоненту – мастила нафтового походження з низьким вмістом сірки. Кожен виробник мастила додає до бази пакет присадок, який повинен виконувати такі функції як: зменшувати силу тертя, вимивати продукти зносу із системи мащення, захищати трибоспряження від задирів, зменшувати інтенсивність зносу. Всі ці властивості позиціонують майже всі виробники мастила для ДВЗ. Проте, необхідно розглянути конкретні марки та їх особливості.

Однією з популярних торгових марок, що виготовляють та поставляють мастило на ринок України є бренд ZIC. Найбільшого розповсюдження отримали напівсинтетичні мастила вказаної марки, зокрема це ZIC X5 10W40 (рис. 1.1). Напівсинтетичне мастило складається з базового напівсинтетичного мастила Yubase та мінерального, у співвідношенні до 50/50. Вказане мастило окрім суміші напівсинтетичного та мінеральних мастил має в своєму складі комплекс спеціальних добавок.



Рисунок 1.1 – Напівсинтетичне мастило ZIC X5 10W40

Присадки, що вводяться до мастила забезпечують зменшення сили тертя (коефіцієнту тертя), мають миючі властивості – розчиняють продукти зносу та виводять їх із зони тертя, захищають трибоспряження від інтенсивного зносу. Так, в якості компонента, який зменшує силу тертя в даному мастилі використовується молібден. Основні характеристики мастила представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики мастила ZIC X5 10W40

№ з/п	Назва показника	Значення
1	В'язкість за SAE	10W40
2	Густина при 15 °C, г/см ³	0,85
3	Кінематична в'язкість за температури 40 °C, мм ² /с	93,4
4	Кінематична в'язкість за температури 100 °C, мм ² /с	14,3
5	Індекс в'язкості	156
6	Температура втрати текучості, °C	-38
7	Температура спалаху, °C	243
8	Вміст сірки, %	0,22

Відповідно до наведених даних в табл. 1.1, можна зробити висновок про низький вміст сірки в мастилі та добру адаптованість до всесезонного використання. Температура втрати текучості, в деяких джерелах – температура замерзання, становить $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$, що для природньо-кліматичних умов України достатньо із значним запасом. Крім цього, мастило ZIC X5 10W40 займає середню вартість серед напівсинтетичних моторних масел.

Одним із відомих вітчизняних брендів, який займає чинне місце на ринку України є мастило виробництва XADO (рис. 1.2). Виробник мастила позиціонує його як таке, що має крім базових присадок які використовують майже всі виробники, додатково присадки для відновлення поверхонь на основі металокераміки.



Рисунок 1.2 – Напівсинтетичне мастило XADO Atomic OIL 10W40

(джерело – <https://xado.com>)

В склад мастила введено спеціальний атомарний ревіталізатор, що забезпечує додатковий захист поверхонь трибоспрямижень та створює спеціальну наноплівку, яка зменшує силу тертя. Основні технічні та експлуатаційні характеристики мастила (табл. 1.2) підтверджують його відношення саме до напівсинтетичних масел.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики мастила XADO 10W40

№ з/п	Назва показника	Значення
1	В'язкість за SAE	10W40
2	Густина при 15 °С, г/см ³	0,86
3	Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм ² /с	94,6
4	Кінематична в'язкість за температури 100 °С, мм ² /с	14,2
5	Індекс в'язкості	155
6	Температура втрати текучості, °С	-39
7	Температура спалаху, °С	210
8	Вміст сірки, %	0,25

За своїми характеристиками та властивостями розглянуті вище мастила мають дуже близькі показники. Для визначення реальних експлуатаційних показників та властивостей необхідно виконувати випробування в процесі експлуатації ДВЗ.

Крім наведених мастил широко розповсюдженими марками напівсинтетичних мастил є Mannol Clasic 10W40 (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Мастило Mannol Clasic 10W40

Представлене мастило Mannol (рис. 1.3) виготовляється в Німеччині, та призначене для використання, як у бензинових, так і дизельних ДВЗ, в тому числі з турбо наддувом. Мастило є напівсинтетичним для експлуатації протягом всього року (всесезонне). Комплекс присадок схожий зі всіма розглянутими мастилами, та повинен сприяти зменшенню тертя, створенню рідинного мащення трибоспряжень незалежно від температури та режимів експлуатації ДВЗ.

Спираючись на наведені дані, можна зробити обґрунтований висновок, що кожен виробник моторного мастила вказує на високі показники та властивості щодо захисту поверхонь тертя при будь яких режимах роботи ДВЗ, видалення продуктів зносу та розкладання палива та мастила та ін. Проте, для оцінки того чи іншого мастила необхідно виконувати визначення їх показників на основі саме стендових досліджень. Так як у випадку експлуатаційних випробування складно виконати порівняння різноманітних показників, що пов'язано із стохастичним режимом навантаження двигунів, особливістю стилю їзди кожної людини.

1.4 Обґрунтування теми дипломної роботи

Кожен виробник мастила для ДВЗ позиціонує свою продукцію, як еталон, що дозволяє найкраще захистити трибоспряження від інтенсивного зношування та підвищити їх довговічність. Але вартість мастильних матеріалів одного класу може змінюватися в широкому діапазоні. Наприклад, для напівсинтетичних моторних мастил об'ємом 4 л вартість становить від 350 грн. до 850...900 грн. Тому, для визначення реальної ефективності мастила необхідно виконувати дослідження його показників тільки за допомогою спеціального обладнання та устаткування.

Дослідження властивостей та характеристик мастильних матеріалів, зокрема для двигунів внутрішнього згорання, найоптимальніше виконувати на спеціальних стендах у стаціонарних умовах. Це дозволяє створювати ідентичні

режими роботи: тиск, навантаження, тривалість безперервної роботи та ін. Також такі дослідження можна виконувати незалежно від погодних умов та часу доби (хоч 24 години на добу). Крім того, використання чутливих датчиків та приладів дозволяє уловлювати навіть незначну різницю в показниках що досліджуються.

Тому, метою дипломної роботи є встановлення впливу мастильного середовища на довговічність трибоспряжень.

Задачі дипломної роботи:

1. Проаналізувати основні методи підвищення довговічності трибоспряжень, їх переваги та недоліки. Розглянути стан наукових досліджень в обраному напрямку. Навести основні характеристики та властивості популярних моторних мастил в Україні.
2. Навести методики та обладнання для дослідження властивостей мастильних матеріалів.
3. Визначити вплив моторних мастил різних виробників на режими тертя та довговічність трибоспряжень.
4. Визначити потенційні небезпечні та шкідливі фактори при роботі із машинами для дослідження матеріалів на тертя та зношування. Розглянути правила безпеки виконання робіт при проведенні експериментальних досліджень.
5. Навести техніко-економічний аналіз результатів дипломної роботи.

2. ПРОГРАМА, МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Завдання та програма досліджень

Враховуючи значну кількість методів та способів підвищення довговічності постає питання щодо ефективності їх використання для різноманітних трибоспряжень. Значна частина методів базується на необхідності кардинальних змін або конструкції, або властивостей деталей рухомих спряжень. При цьому, такі методи та способи реалізації технологій мають декілька значних недоліків пов'язаних із їх вартістю та складністю технологічних процесів відновлення або нанесення спеціальних покриттів. Тому, одним із шляхів підвищення довговічності трибоспряжень є забезпечення оптимальних режимів їх експлуатації, в тому числі за рахунок мастильних матеріалів. Одним із таких агрегатів за рахунок використання високоякісних мастильних матеріалів можна значно підвищити довговічність є двигуни внутрішнього згорання. Саме тому, в конструкціях ДВЗ використовують складну систему мащення задля подачі мастила до кожного трибоспряження силового агрегату.

Конструкції ДВЗ вже вийшли на плато, щодо удосконалення своїх основних систем, тому сьогодні найбільшу увагу приділяють на конструктивним особливостям ДВЗ а удосконаленню систем керування роботою двигуна. В той же час для підвищення довговічності інтенсивна робота ведеться в сфері удосконалення властивостей мастильних матеріалів для них. Так, наприклад виробник самохідної техніки John Deere пропонує декілька видів моторного мастила, що мають інтервали заміни від 250 до 500 мотто-годин, для одного типу двигунів. Це свідчить, що саме за рахунок якісного моторного мастила можна досягнути значного підвищення інтервалу заміни. Це дозволяє зменшити простій техніки, і як результат підвищує її ступінь використання.

Саме тому існує актуальне завдання щодо визначення здатності моторних мастил до зменшення інтенсивності зношування деталей трибоспряжень. Для дослідження властивостей моторних мастил обрано три марки, що мають один клас та призначені для використання протягом всього календарного року.

Програма робіт складалась з таких етапів:

- підготовка елементів трибоспряжень до експерименту (сталевого диску та колодки);
- підготовка (тарування) обладнання;
- дослідження коефіцієнту тертя при змащуванні різними моторними мастилами;
- визначення величини зносу трибоспряження «диск-колодка»;
- дослідження поверхонь тертя на основі металографії (фото одержані за допомогою оптичного мікроскопу);
- узагальнення результатів роботи та надання рекомендацій щодо ефективності обраних мастил.

2.2 Методики та обладнання для дослідження трибологічних властивостей

Різноманітні виробники мастила вказують про широкі властивості мастила щодо здатності забезпечувати стійку плівку навіть за незначної кількості мастила в трибоспряженні. Тому, в роботі запропоновано провести порівняльне дослідження властивостей мастил при роботі трибоспряжень у режимі напівсухого мащення.

Для встановлення властивостей мастильних матеріалів щодо зменшення коефіцієнту тертя та величини зносу використовували спеціальну машину для дослідження матеріалів на тертя та зношування СМТ-1 (рис. 2.1). Машина складається із таких основних складових, як пульт керування в якому встановлено потенціометр для фіксації величини моменту тертя та блоку для встановлення зразків та створення необхідного режиму тертя.

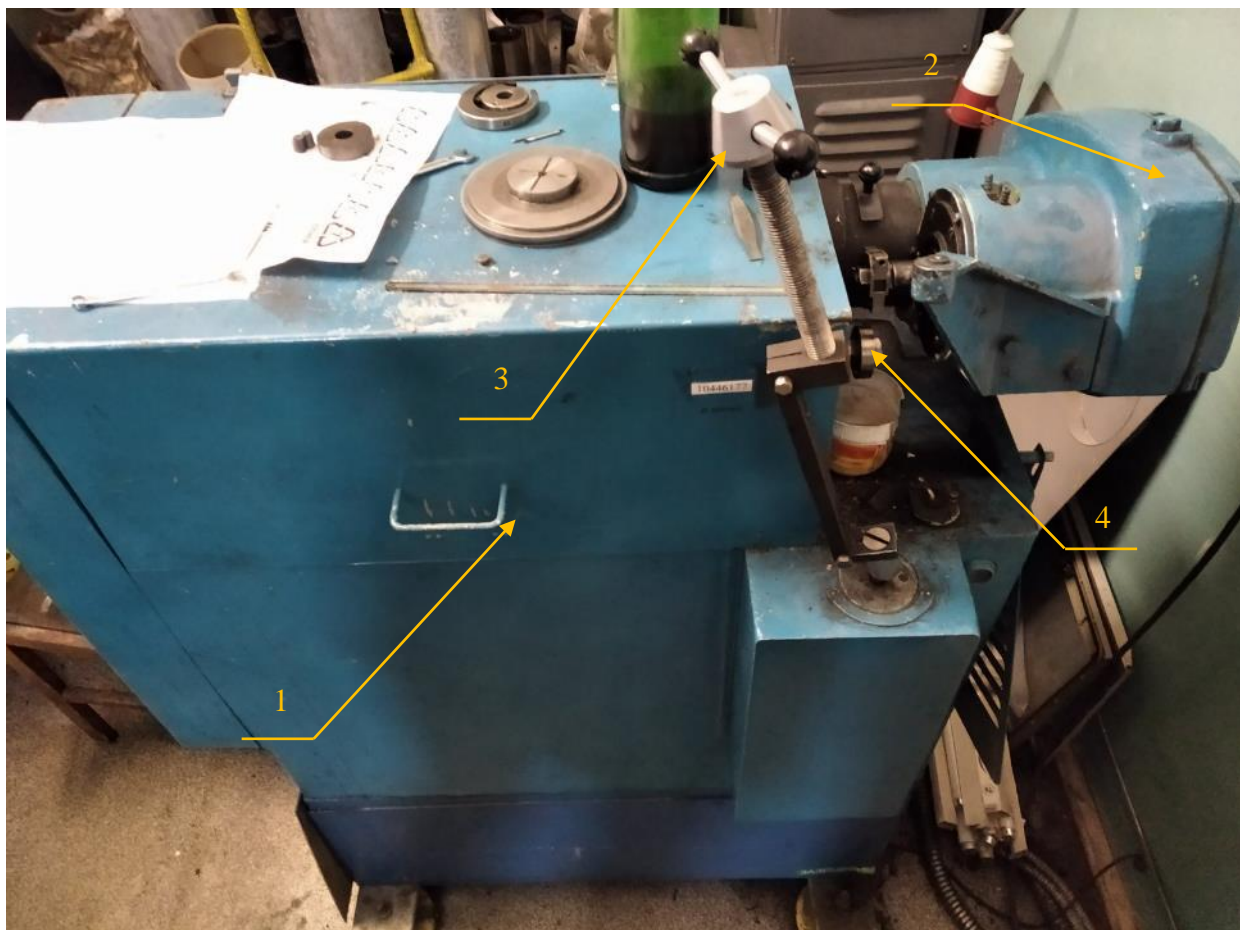


Рисунок 2.1 – Машина СМТ-1: 1 – Блок приводу та зчитування величини моменту тертя; 2 – бабка; 3 – механізм для створення навантаження; 4 – диск.

Дослідження виконувались відповідно до відомої методики [13, 14] з використанням схеми диск-колодка. Диск встановлюється на валу машини тертя та приводиться в обертальний рух за допомогою електродвигуна з можливістю зміни частоти обертання безступінчасто. Механізм для створення навантаження складається з пружини та динамометричного пристрою встановленого на ній по принципу реостату. Гвинт механізму передає навантаження через бабку 4 на колодку, що притискається до диска 4.

Пульт керування (рис. 2.2) крім потенціометра містить два показчики. За показниками одного з них фіксується частота обертання диска для подальшого визначення лінійної швидкості ковзання (лівий циферблат). Другий показчик (циферблат) дозволяє фіксувати навантаження на трибоспряження (правий показчик).



Рисунок 2.2 – Пульт керування, обліку режимів тертя та результатів досліджень машини СМТ-1: 1 – потенціометр моменту тертя, 2 – резистор установки на нуль показчика потенціометра; 3 – перемикач діапазону шкали моменту тертя, 4 – шкала для фіксації частоти обертання валу на якій встановлено диск, 5 – шкала-показчик навантаження на трибоспряження, 6 – лічильник кількості обертів привідного валу, 7 – потенціометри точного та грубого встановлення частоти обертання основного валу, 8 – перемикач режиму «робота або перевірка» (тарування).

Для тарування показчика величини навантаження використовували спеціальне пристосування (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Пристосування для тарування показчика навантаження

Порядок тарування навантаження полягає в наступному. Шкалу потенціометра моменту тертя 1 встановити на нуль за допомогою резистора 2 (встановлення на нуль). На диск встановлений на важіль пристосування (рис. 2.3) покласти вантаж масою 5 кг, який враховуючи геометричні розміри пристосування, створює момент величиною 2,5 Н·м. Перемикач діапазону вимірювання моменту тертя необхідно встановити в режим $\times 0,25$. Показчик на шкалі потенціометра повинен бути в діапазоні 98...100 поділок. У випадку не відповідності шкалі та отриманому результату необхідно за допомогою резистору – встановлення діапазону шкали, встановити показчик в положення 98...100 поділок. Після цього необхідно зняти вантаж з пристосування та

зафіксувати положення стрілки потенціометру моменту тертя. Показчик повинен повернутися в положення нуля.

Для визначення коефіцієнту тертя використовували величину моменту тертя зафіксовану на діаграмному папері.

Коефіцієнт тертя визначаємо з виразу:

$$f = \frac{M_{кр}}{N \cdot \Delta}, \quad (2.1)$$

де $M_{кр}$ – величина крутного моменту, зафіксована на діаграмному папері, Н·м;

N – величина навантаження трибоспряження, Н;

Δ – крок діаграмного паперу, м, приймаємо $\Delta = 0,0025$ м.

2.3 Методика та обладнання для визначення величини зносу трибоспряжень

Масовий знос визначали за допомогою аналітичних терезів ВЛР-200 (рис. 2.4). Точність яких становить не нижче 0,0001 г. Терези обов'язково перед початком вимірювань встановлювали за рівнем горизонтально та виконували налаштування на 0 (калібрування).



Рисунок 2.4 – Терези ВЛР-200

Дослідження виконували у такій послідовності:

- зразки протирали спиртом та зважували до випробування на тертя та знос;
- не знімаючи гирі з одних шальок терезів виконували визначення коефіцієнту тертя та температури в околі тертя;
- пари тертя після дослідження протирила від залишків мастила та повторно зважували;
- різницю між початковою масою (до дослідження) та кінцевою масою (після дослідження) приймали як величину зносу за масою.

2.4 Дослідження температури в зоні тертя

Температуру трибоспряжень при тертя в обраному режимі визначали за допомогою логера температури Easy Logger USB (рис. 2.5). Наведений прилад дозволяє фіксувати температуру в безперервному автоматичному режимі до 72

годин з інтервалом від декількох секунд до 1...2 годин. Пам'ять приладу розрахована на 3000 точок фіксації величини температури. Діапазон робочих температур становить від -100 °С до +1100 °С. Зазвичай прилад використовується для контролю температури робочого середовища протягом довготривалого періоду. Проте, висока точність та автономність роботи має набагато ширшу сферу застосування.



Рисунок 2.5 – Логер температури Easy Logger USB

Представлений логер налаштовується через персональний комп'ютер, і в подальшому працює в автоматичному режимі. Після завершення фіксації температури його необхідно під'єднати знову до ПК та зчитати результати у зручному вигляді. Вони можуть бути представлені у вигляді таблиць, графіків чи баз даних. Зручність роботи приладу полягає в можливості точного налаштування періодичності фіксації температури та запам'ятовування даних в автоматичному режимі.

2.5 Дослідження поверхонь тертя

Для отримання додаткових результатів досліджень, зокрема визначення стану поверхонь до та після тертя використовували мікроскоп МБИ-6 обладнаний окулярною камерою та персональний комп'ютер (рис. 2.6). Дослідження поверхонь виконувалось за роздільної здатності мікроскопу $\times 400$.

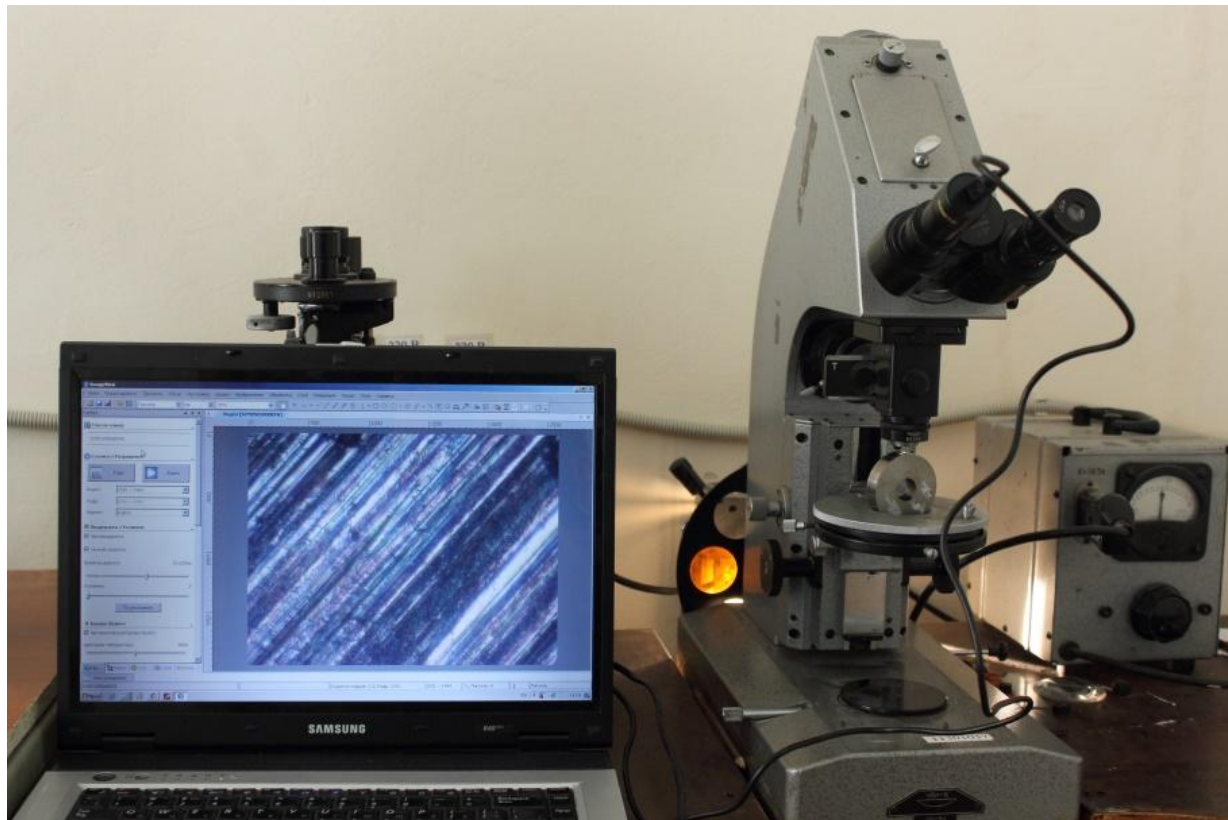


Рисунок 2.6 – Мікроскоп МБИ-6 зі встановленою окулярною камерою та персональним комп'ютером

Металографію поверхонь фіксували до та після досліджень за допомогою окулярної камери та персонального комп'ютера. Отримані фотознімки порівнювали між собою при використанні різних моторних мастил та робили висновки про їх вплив на стан поверхонь тертя.

Спираючись на наведені методики та у відповідності до розробленої програми виконували дослідження в наступному розділі дипломної роботи.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати досліджень трибологічних властивостей

Для проведення досліджень використовували схему «диск-колодка», зовнішній вигляд яких наведено на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Зразки трибоспряження типу «диск-колодка» для дослідження властивостей мастильних матеріалів

Перед проведення експериментальних досліджень виконували попереднє припрацювання поверхонь тертя трибоспряження. Основною задачею якого є утворення плями контакту площею приблизно 1 см^2 . Припрацювання виконували за таких режимів роботи: тиск – 3 МПа, лінійна швидкість ковзання – 0,785 м/с. Періодично виконували обробку поверхонь тертя за допомогою наждачного паперу зернистістю Р600, для прискорення процесу притирання.

Під час припрацювання зафіксовано періодична різка зміна величини моменту тертя (рис. 3.2). Такий характер одержаної діаграми цілком відповідає режиму припрацювання та є нормою.

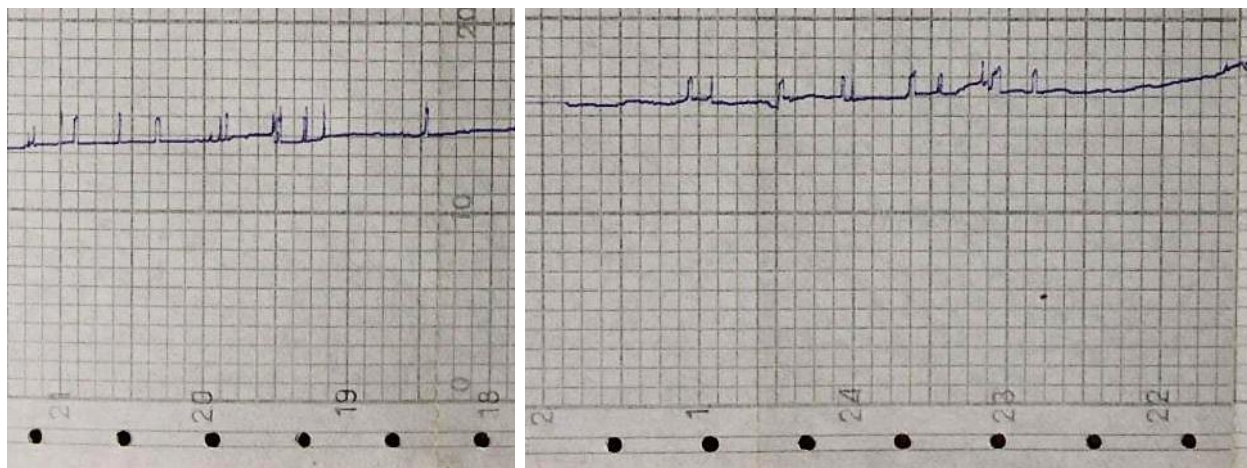


Рисунок 3.2 – Динаміка та характер моменту тертя в режимі припрацювання трибоспряження

Значне різке збільшення моменту тертя (рис. 3.2) обумовлене утворенням продуктів зношування та накопичення їх в зоні тертя. В момент коли сила тертя перевищує силу зчеплення продуктів зношування з трибоспряженням відбувається їх відривання та винесення за зону тертя. Зазвичай після цього спостерігається зменшення моменту тертя до меншого значення у порівнянні із показником до його різкого зростання.

Після проведення припрацювання виконано дослідження трибологічних властивостей моторних мастил таких виробників та марок, як: Xado 10W40 та Zic X5 10W40.

Режими випробування:

- лінійна швидкість ковзання – 1,5 м/с;
- тиск 5 МПа – перші 10 хв. роботи в подальшому – 7 МПа безперервно протягом 50 хв.

Залежність моменту тертя від тривалості експерименту та його характер при терті трибоспряження в середовищі моторного мастила ZIC X5 наведено на рис. 3.3. Отримані результати свідчать про незначну динаміку середнього значення моменту тертя, не враховуючи короточасні мінімальні та максимальні відхилення. Під час досліджень зафіксовано періодична зміна характеру моменту тертя (зони 1 та 2).

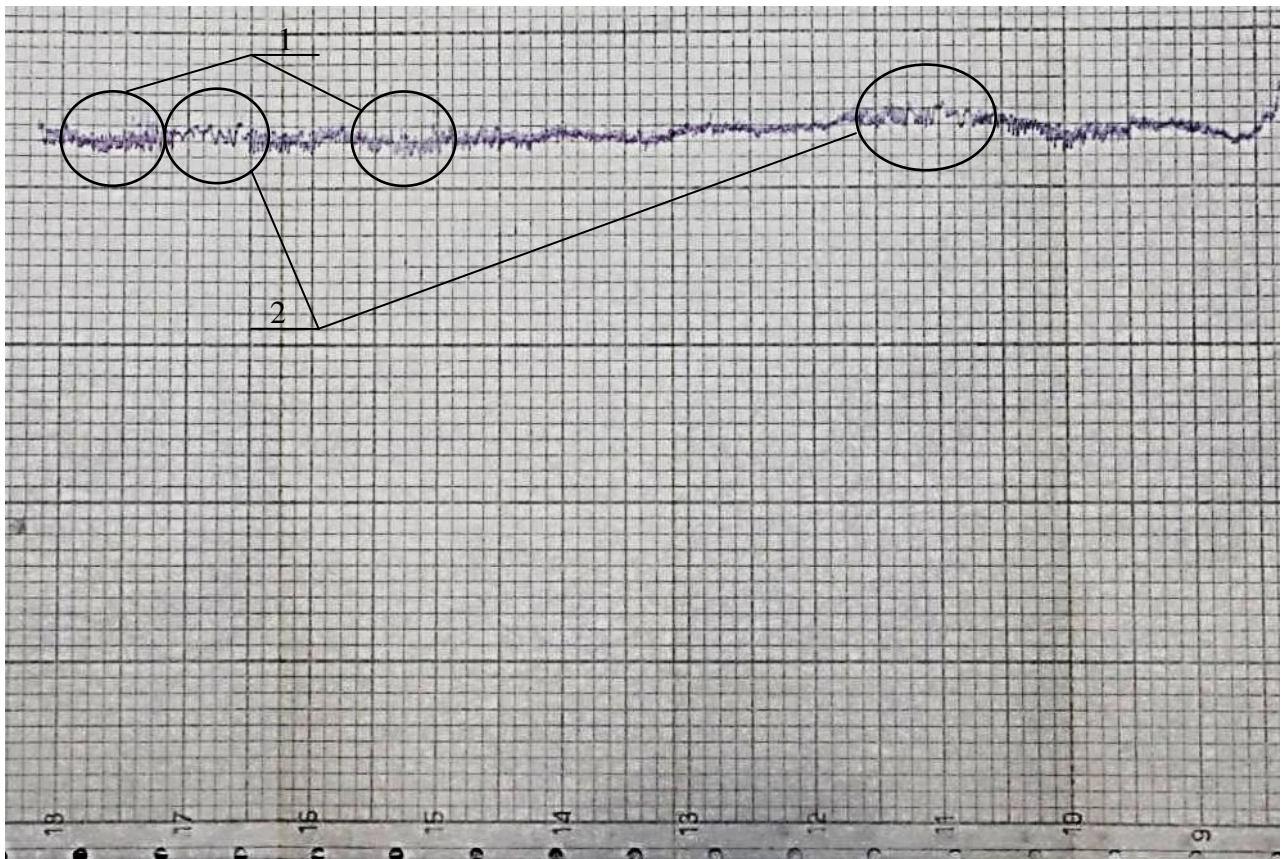


Рисунок 3.3 – Динаміка моменту тертя в залежності від тривалості експерименту (мастило ZIC X5).

У зонах 1 на рис. 3.3 спостерігається значні протилежно направлені зміни моменту тертя. Такий режим тертя вказує на незначну здатність мастила щодо стабільності роботи при різноманітних режимах та може бути причиною збільшення інтенсивності зношування трибоспряження. В результаті чого можливе зменшення їх довговічності за рахунок нестабільного режиму експлуатації.

У зонах 2 рис. 3.3 момент тертя має значну амплітуду за величиною, проте швидкість зміни його величини відбувається плавно (без різких скоків). При цьому момент тертя в середній частині проведення експерименту мав більш стабільні показники але тривалість такого режиму не значна – всього від 5 до 15 хв. Величина моменту тертя присталому режимі становила – 1,13 Н·м.

Динаміка моменту тертя при змащуванні трибоспряження моторним мастилом Xado має певні відмінності (рис. 3.4).

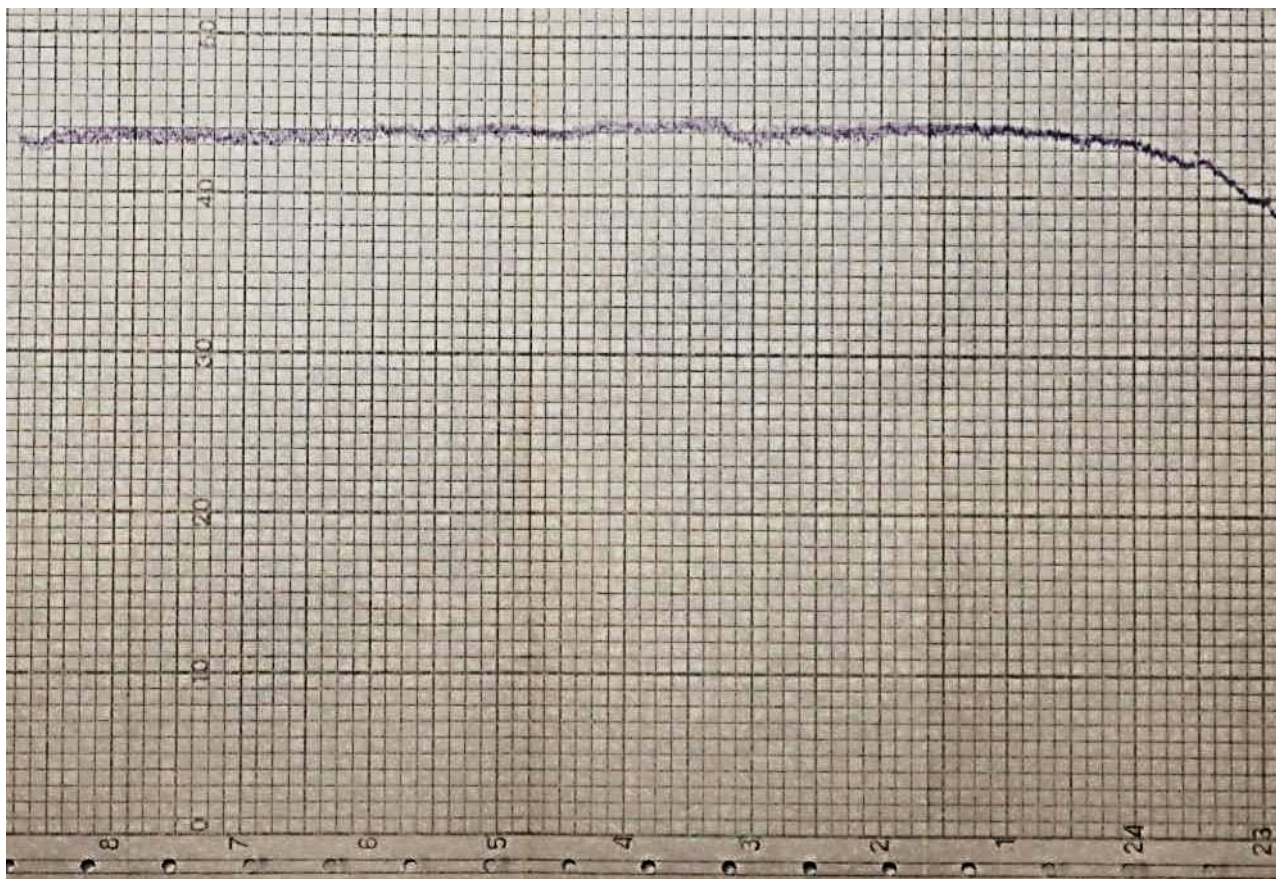


Рисунок 3.4 – Динаміка моменту тертя в залежності від тривалості експерименту (мастило Xado).

На початку експерименту (рис. 3.3) при мащенні мастилом Xado спостерігається збільшення моменту тертя, що кардинально відрізняється від результатів трибологічних досліджень при мащенні мастилом ZIC X5. Це може бути обумовлено початком взаємодії присадок мастила із поверхнями трибоспряжень. В подальшому спостерігається поступове зменшення моменту тертя. При цьому, необхідно звернути увагу на стабільність моменту тертя без різкого та короткочасного його зменшення чи збільшення. Це дозволяє зробити висновок щодо кращого режиму тертя при використанні вказаного мастильного середовища.

Середнє значення моменту тертя при сталому режимі тертя становить – 1,15 Н·м. Значної різниці за середньою величиною моменту тертя при терті з використанням різних моторних мастил не зафіксовано, проте стабільність роботи вища при використанні мастила марки Xado.

3.2 Результати визначення величини зносу трибоспрямижень

Величину зносу визначали на основі зважування зразків до, та після дослідження на аналітичних терезах ВЛР-200 (рис. 3.5). Після зважування зразка до дослідження набрані міри маси не знімали з протилежних шальок терезів для мінімізації неточності вимірювань.



Рисунок 3.5 – Зважування зразку типу колодка на терезах ВЛР-200

Результати визначення величини зносу наведено в таблиці 3.1.

Марка моторного мастила	Лінійна швидкість ковзання м/с	Тиск, МПа	Момент тертя (сталій режим), Н·м	Інтенсивність зносу, г/м
Zic X5(10W40)	1,5	7,0	1,13	1,97E-07
Xado (10W40)	1,5	7,0	1,15	1,62E-07

Одержані результати свідчать про зниження інтенсивності лінійного зносу при використанні мастила Xado на 17,7 % у порівнянні з моторним мастилом Zic X5. Крім того слід зазначити, що момент тертя при терті в мастильному середовищі Xado дещо вищий, тому детально розглянемо динаміку температури в зоні тертя. Зменшення інтенсивності зносу дозволяє підвищити довговічність трибоспрямижень шляхом використання відповідного моторного мастила.

3.3 Результати дослідження температури в зоні тертя

Одним із важливих параметрів, який необхідно контролювати при дослідженні умов роботи трибоспрямижень є температура в зоні тертя. Для контролю температури використовували наведений в 2 РОЗДІЛІ логер температури Easy Logger USB та програмне забезпечення EasyLog USB для налаштування режиму роботи логера та зчитування даних після дослідження. Вказане програмне забезпечення дозволяє налаштувати періодичність запам'ятовування температури, що контролюється, від щосекундного до інтервалу в 12 годин. При цьому, тривалість безперервного моніторингу температури з інтервалом запам'ятовування щосекунди становить 9 годин.

При дослідженні встановлено періодичність контролю температури з інтервалом одна секунда, для того щоб можна було упіймати навіть незначні та короточасні зміни параметра що контролюється.

Динаміка температури в режимі припрацювання наведено на рис. 3.6.

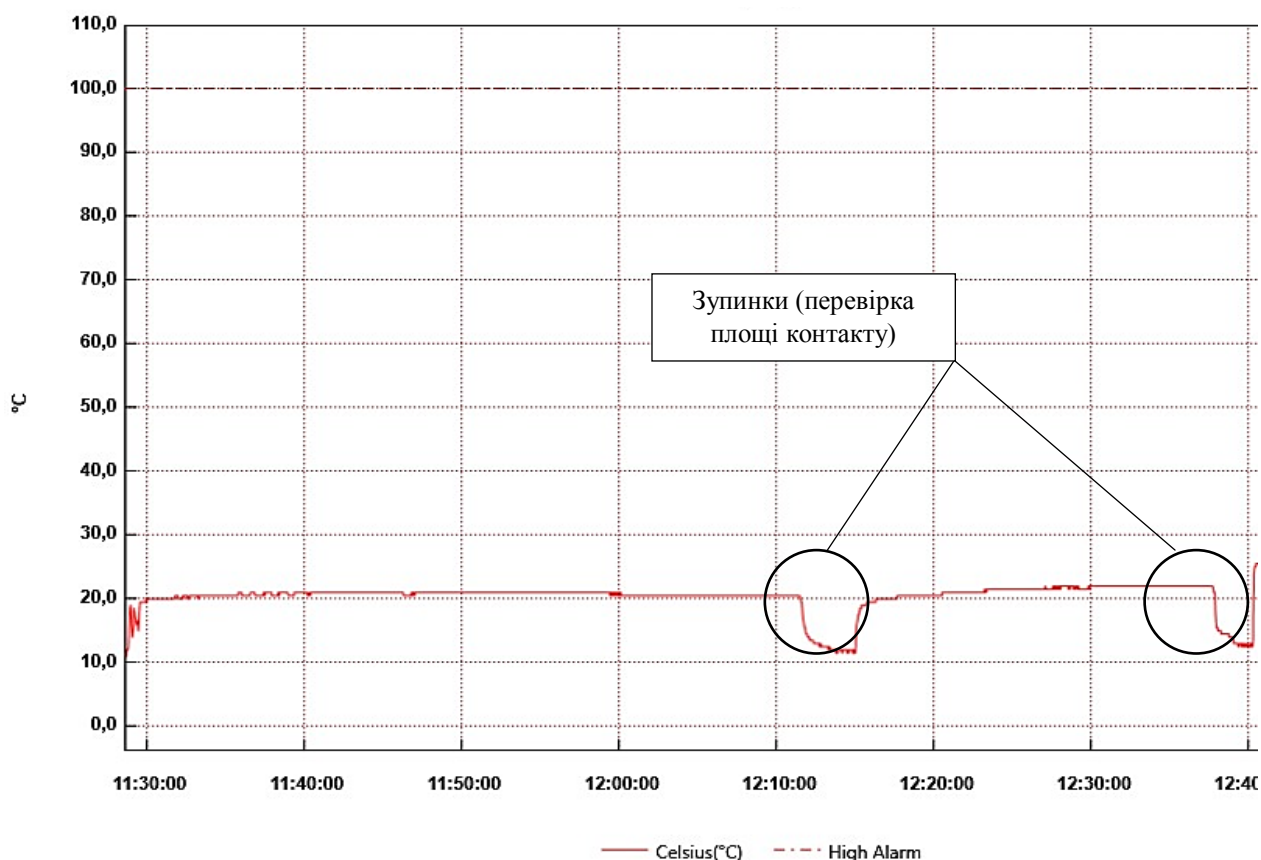


Рисунок 3.6 – Динаміка температури в зоні тертя (режим припрацювання)

Зони, виділені на рис. 3.6 – короточасні зупинки для проведення перевірки процесу припрацювання. Отримані результати свідчать про стабільне протікання відповідного процесу – значних коливань температури не зафіксовано.

Одержані результати динаміки температури при терті в середовищі мастила ZIC X5 наведено на рис. 3.7.

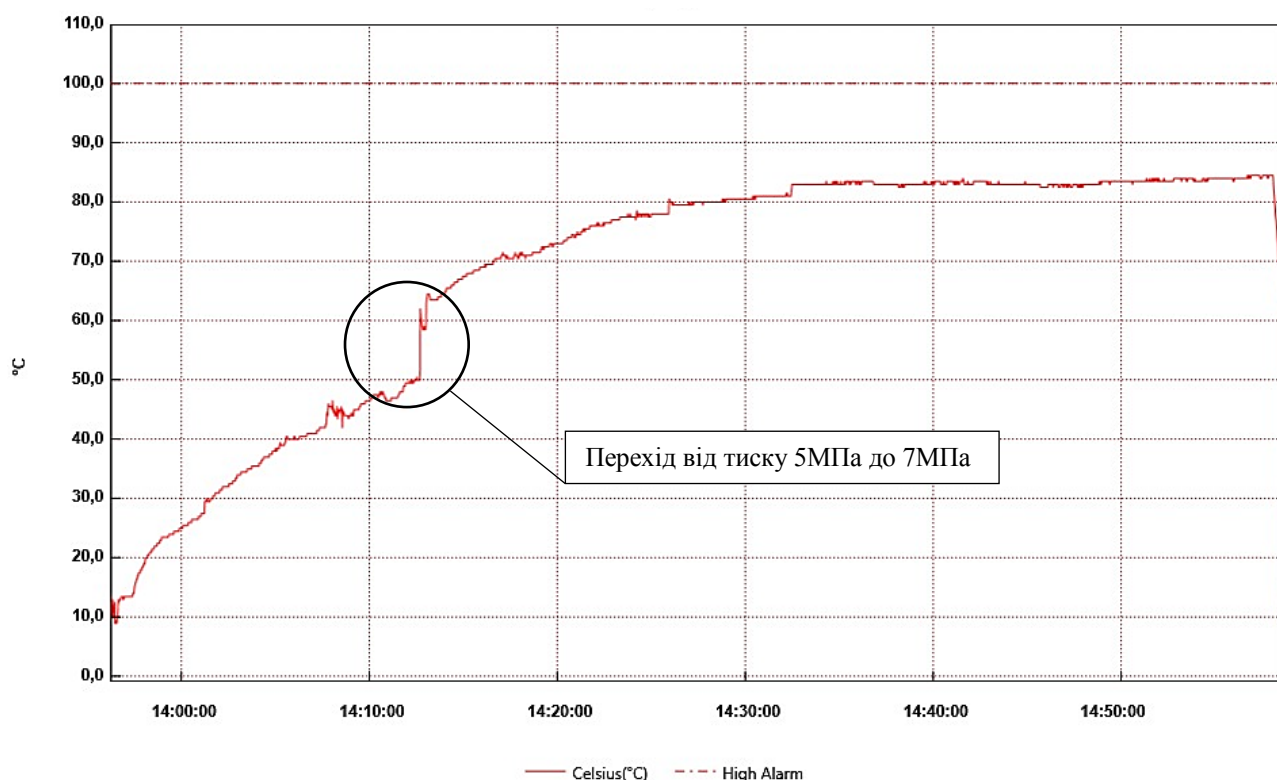


Рисунок 3.7 – Динаміка температури в зоні тертя при мащенні ZIC X5

Поступове збільшення величини тиску на трибоспряження з 5 МПа до 7 МПа пов'язане із необхідністю знімання зразку типу колодка для проведення зважування. В результаті чого можливе незначне відносне зміщення елементів трибоспряжень. Це у випадку прикладання значного навантаження на трибоспряження може призвести до підвищення інтенсивності зношування.

Під час дослідження зафіксовано декілька незначних стрибків (підвищень) температури в зоні тертя. Зафіксована динаміка збільшення температури – поступова, максимальне значення температури в зоні тертя становило – 84,5 °C.

Динаміка температури в зоні тертя при використанні моторного мастила Xado наведено на рис. 3.8.

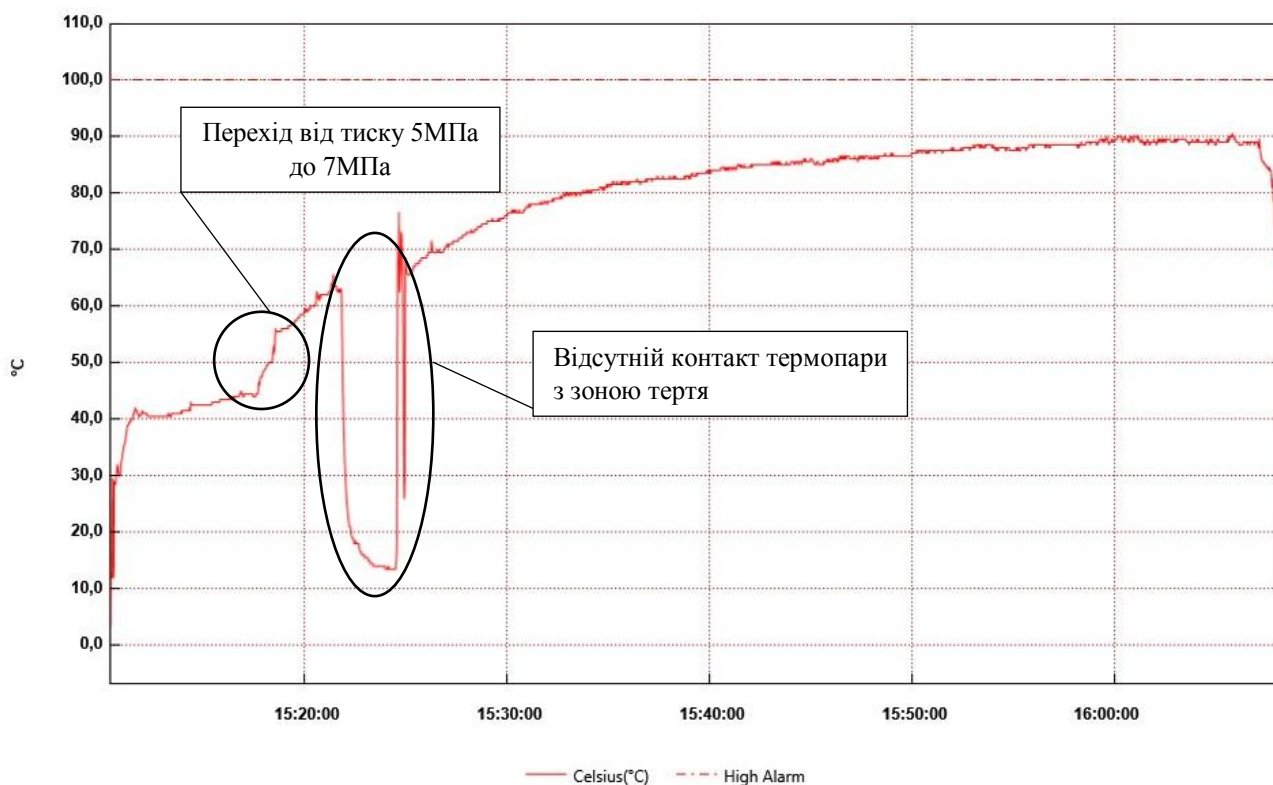


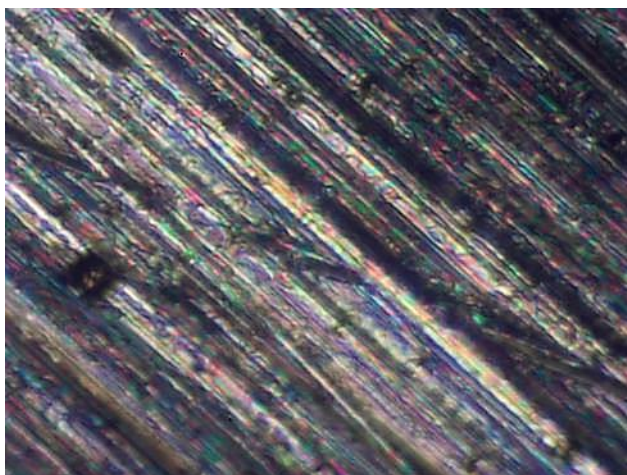
Рисунок 3.8 – Динаміка температури в зоні тертя при мащенні Xado

Встановлено, що максимальна температура в зоні тертя при використанні моторного мастила Xado склала 90,0 °C. Динаміка зростання температури схожа із попередніми приведеними результатами. Виділена зона різкого зниження температури пов'язана із втратою якісного контакту термопари приладу із зоною тертя, тому при аналізі отриманих даних дану зону не враховуємо.

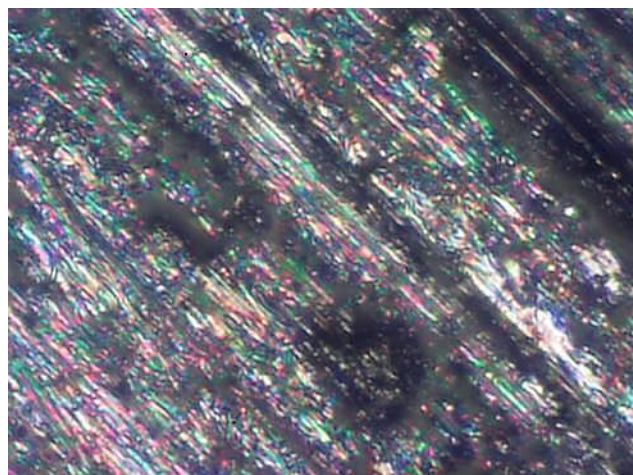
3.4 Результати досліджень поверхонь тертя трибоспряжень

Крім наведених результатів щодо моменту тертя та температури в зоні тертя важливе значення мають дослідження, що пов'язані з аналізом поверхонь тертя до, та після виконання робіт.

Мікрофото поверхонь тертя елементів трибоспряження, а саме колодки та диску наведено на рис. 3.9.



а



б

Рисунок 3.9 – Мікрофото поверхонь до проведення досліджень: а – диску, б – колодки ($\times 400$)

Металографія поверхонь тертя диску після тертя в середовищі моторного мастила ZIC X5 наведено на рис. 3.10.

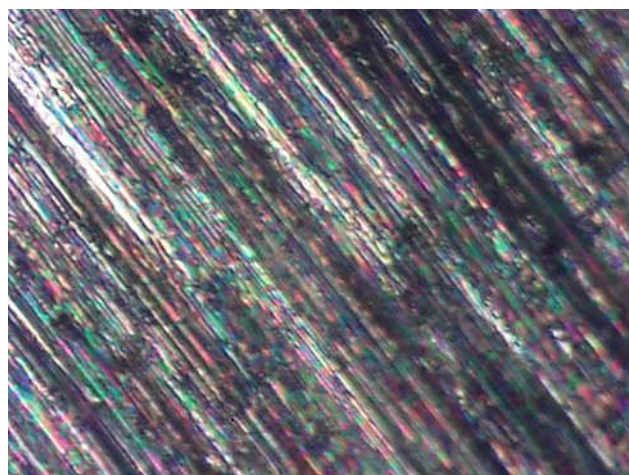
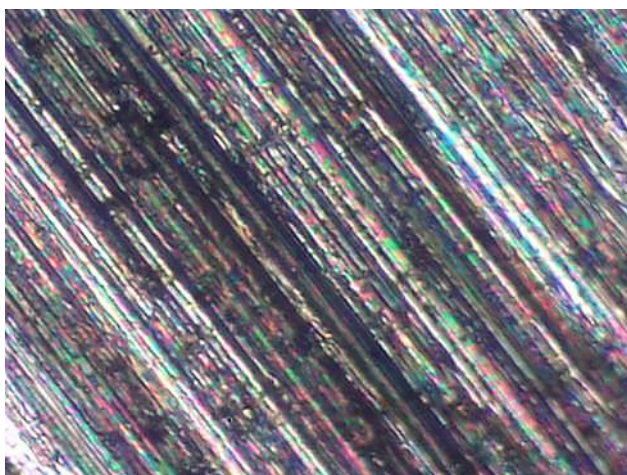


Рисунок 3.10 – Металографія поверхні тертя диску після тертя в середовищі моторного мастила ZIC X5 ($\times 400$)

Аналізуючи мікрофото поверхні тертя диску до та після проведення експерименту можна зробити висновок щодо збільшення кількості пошкоджень на поверхні без кардинальних змін в цілому. Однаково направлені світлі лінії і є місцями безпосереднього контакту двох тіл, що труться. Темні смужки на фото – це борозни (заглиблення) на поверхні тертя.

Металографія поверхонь тертя колодки після випробувань наведено на рис. 3.11.

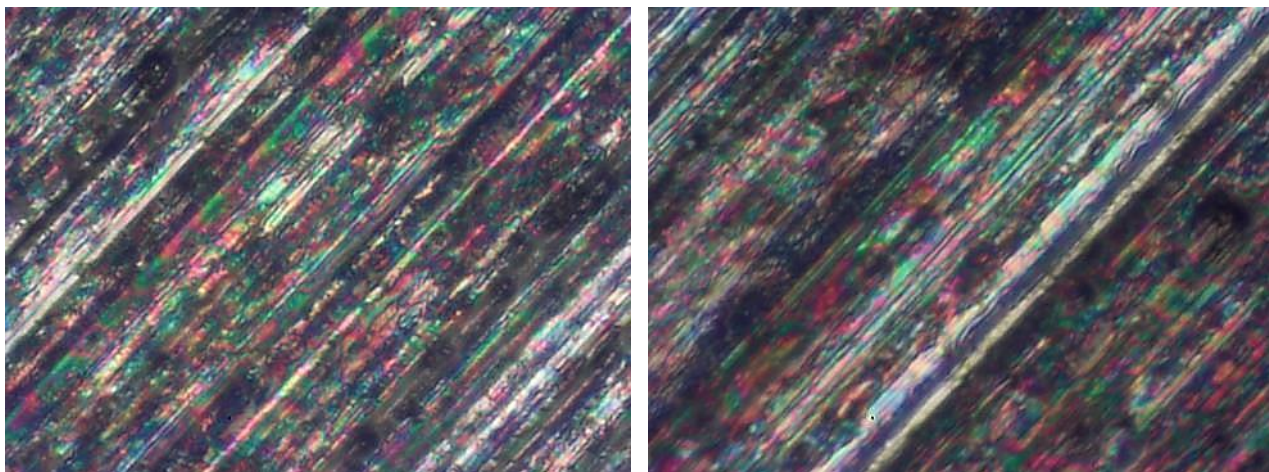


Рисунок 3.11 – Металографія поверхні тертя колодки після тертя в середовищі моторного мастила ZIC X5 ($\times 400$)

Одержані результати дослідження поверхонь тертя колодки після тертя в мастилі мають сходу структуру з диском, а саме збільшення кількості та розмірів смужок контакту. Крім цього, значної різниці до, та після тертя не зафіксовано.

Результати дослідження поверхонь трибоспряження після тертя в середовищі моторного мастила Xado наведено на рис. 3.12 та 3.13.

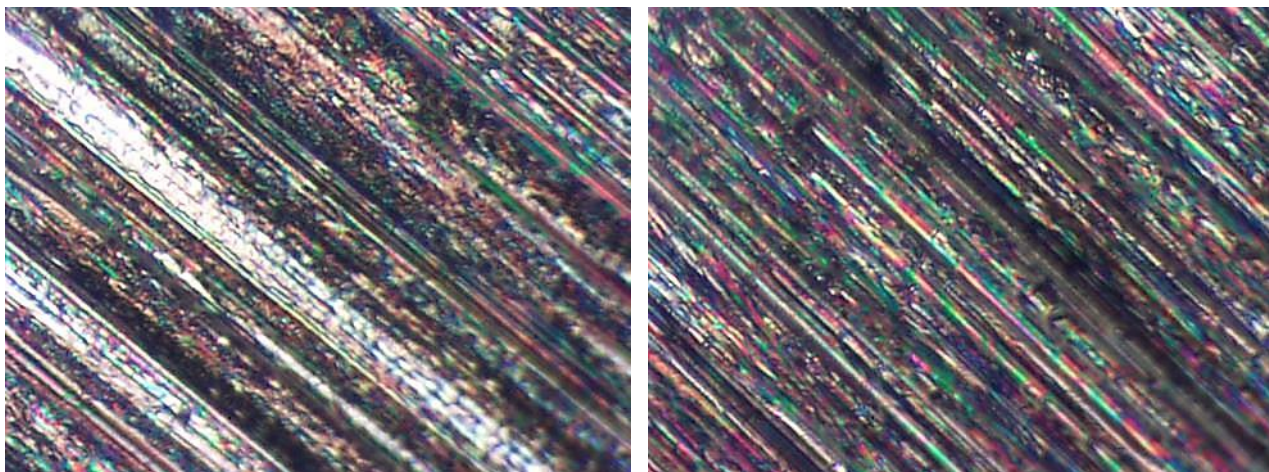


Рисунок 3.12 – Металографія поверхні тертя диску після тертя в середовищі моторного мастила Xado ($\times 400$)

Після проведення експерименту при мащенні моторними мастилом Xado на поверхні тертя диску зафіксовано незначні накопичення відкладень в борознах та на їх периферіях. Це можна пояснити присутністю у складі мастила ревіталізатору, що призначений для заповнення нерівномірностей поверхонь та поліпшення режимів тертя.

Аналогічний ефект зафіксовано й на поверхні тертя типу колодка після проведення експериментальних досліджень (рис. 3.13)

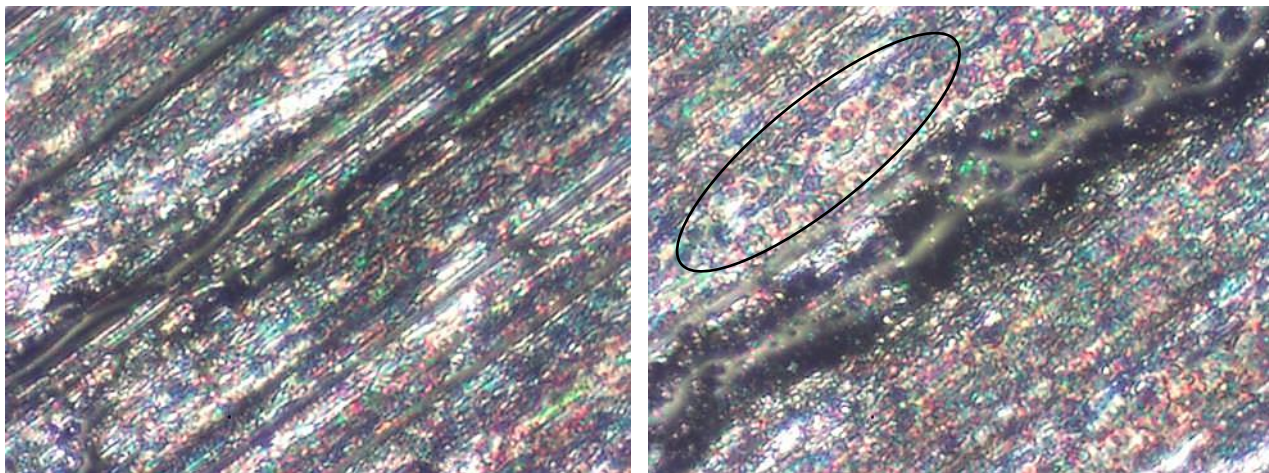


Рисунок 3.13 – Металографія поверхні деталі типу колодка після тертя в середовищі моторного мастила Xado ($\times 400$)

При цьому, на металографічних знімках кількість відкладень значно більша, у порівнянні із диском. Пов'язано це із меншою площею тертя, яка становить приблизно 1 см^2 , що в десятки разів менше за поверхню деталі трибоспряження типу диск. Крім цього, на поверхні тертя колодки спостерігаються утворення у вигляді кіл та овалів (виділена зона на рис. 3.13), які дивним чином зв'язані між собою. Передбачаємо, що ці відкладення і є накопичення спеціальних модифікаторів тертя, що сприяють зменшенню інтенсивності зношування поверхонь, і як результат до підвищення довговічності трибоспряжень.

Висновки до розділу. Встановлено, що момент тертя при використанні різних моторних мастил за прийнятих режимів тертя трибоспряження (тиск – 7 МПа, лінійна швидкість ковзання – 1,5 м/с) відрізняється незначно. При

цьому, слід зазначити, що при мащенні моторним мастилом Xado зафіксовано кращу стабільність моменту тертя, у порівнянні з роботою з мастилом ZIC. Визначено, що інтенсивність лінійного зносу при використанні мастила Xado на 17,7 % менша. Дослідженнями зафіксовано декілька незначних стрибків (підвищень) температури в зоні тертя при мащенні мастилом ZIC. Зафіксована динаміка підвищення температури – поступова, максимальне значення температури в зоні тертя становило – 84,5 °C. Встановлено, що максимальна температура в зоні тертя при використанні моторного мастила Xado склала 90,0 °C. Динаміка зростання температури схожа із попередніми приведеними результатами.

Металографічних досліджень поверхні диску при мащенні моторними мастилом Xado зафіксовано незначні накопичення частинок в борознах та на їх периферіях. Це можна пояснити присутністю у складі мастила ревіталізатору, що призначений для заповнення нерівномірностей поверхонь та поліпшення режимів тертя. Аналогічний ефект зафіксовано й на поверхні тертя типу колодка. Вказані накопичення, скоріше за все, це спеціальні модифікатори тертя, що призводять до зменшення інтенсивності зношування поверхонь, і як результат до підвищення довговічності трибоспрямижень.

Наведені результати та їх інтерпретація є власною думкою автора та не можуть бути використані у комерційних цілях, і призначені для використання тільки в дипломній роботі.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні поняття та терміни

«Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності» [15].

Дослідження властивостей та характеристик матеріалів на спеціальному обладнанні пов'язані із деякими небезпечними факторами, що пов'язані із використанням такого обладнання з електричного струму та окремими елементами конструкції, які приводяться рух. Крім того при проведенні досліджень можуть бути присутні різноманітні хімічні речовини, що при високих концентраціях або при попаданні на слизові оболонки тіла людини можуть призводити до травмування або навіть смерті [16]. «Об'єктом підвищеної небезпеки називають об'єкт, на якому виконуються роботи з виготовлення, зберігання, переробки або транспортування небезпечних для життя та здоров'я людей хімічні речовини кількість яких (концентрація) перевищує нормативне значення гранично допустимої маси (або концентрації)» [17].

4.2 Основні небезпечні та шкідливі фактори при роботі на машині тертя

Серед небезпечних факторів при виконанні робіт з дослідження зносу на машині тертя СМТ-1 є:

- електричний струм напругою 380 В

- вал машини тертя на якому встановлено диск, який може обертатися з частотою до 1500 хв^{-1} .

До шкідливих факторів при виконанні робіт на машині тертя СМТ-1, що можуть мати негативний вплив на організм людини слід віднести:

- наявність продуктів зносу матеріалів зразків, що досліджуються, в робочій зоні оператора;
- випаровування змащувальних речовин, що використовуються при дослідженні в режимі тертя зі змащенням;
- підвищений рівень шуму;
- вібрація при значній частоті обертання валу машини тертя.

Серед названих вище шкідливих факторів найбільший вплив має саме присутність в робочій зоні (зоні перебування оператора) продуктів зносу. Так, при використанні мастильних матеріалів відбувається нагрівання мастильного середовища за рахунок відведення тепла із зони тертя. Пари мастила, мастильних матеріалів чи емульсії випаровуються та потрапляють в робочу зону. Потрапляння вказаних парів на слизові оболонки рота носа може призводити до виникнення сухості вказаних слизових оболок чи їх подразнення.

При тривалому перебуванні працівника в зоні з підвищеною концентрацією продуктів зносу (частинки металів чи пластику) можуть виникати проблеми з диханням, виникнення кашлю та ін.

Довготривале перебування працівника в зоні з підвищеним рівнем шуму може мати негативний вплив на органи слуху, і навіть до зменшення його гостроти.

Підвищений рівень вібрації, за умови довготривалої дії на працівника, може викликати порушення функціонування опорно-рухової системи, сприяти розвитку захворювань нервово-судинної та ендокринної систем.

4.3 Розробка заходів щодо забезпечення захисту працівників від небезпечних та шкідливих факторів

До основних організаційних заходів направлених на захист працівників від небезпечних та шкідливих факторів слід віднести проведення інструктажів, спеціальних навчань та перевірку знань [18].

Види інструктажів розрізняють в залежності від часу проведення та їх характером. Першочерговим видом повинно бути проведення вступного інструктажу. Основна його мета це надання інформації щодо загальних питань при виконанні відповідного виду робіт, особливостей організації виробництва чи технологічних процесів на підприємстві. Обов'язково виконують детальне пояснення щодо присутніх шкідливих та небезпечних факторів та об'єктів, що присутні в робочій зоні.

Первинний інструктаж проводять в тому випадку коли працівнику поставлена задача виконання нових видів робіт, які не виконувались ним раніше. Особливу увагу необхідно приділити вимогам щодо використання устаткування та обладнання при виконанні робіт.

Повторний інструктаж виконують у випадку перевищення терміну роботи на одному місці більше як пів року. Пов'язано це з тим, що працівники звикають до однотипної роботи та починається виконання роботи на «автоматі». Це призводить до зменшення концентрації працівника та може призвести до трагічних наслідків. Позаплановий інструктаж направлений на поновлення знань щодо особливостей виконання робіт та заходів безпеки праці при довготривалій перерві у роботі, що перевищує 60 днів.

Для захисту очей та обличчя при роботі на машині для дослідження матеріалів на тертя та знос необхідно використовувати спеціальні захисні окуляри або шитки з прозорого матеріалу (пластику).

Захист органів слуху забезпечується використанням спеціальних захисних навушників, які обираються в залежності від рівня шуму та тривалості перебування працівника в зоні підвищеним рівнем шуму.

4.4 Вимоги безпеки праці при виконанні робіт на машині СМТ-1

Вимоги безпеки перед початком роботи.

Починати виконувати поставлені задачі можна тільки після виконання таких основних вимог [19]:

- Вдягнути спецодяг, спецвзуття та необхідні засоби індивідуального захисту та перевірити їх стан. У випадку невідповідності стану вказаних засобів необхідно повідомити про це відповідального працівника і обов'язково замінити їх. Тільки після цього можна переходити до наступного етапу підготовки до роботи.
- Виконати огляд робочого місця і в разі необхідності підготувати його до роботи. У випадку присутності зайвих деталей чи матеріалів їх необхідно прибрати на спеціально відведені для цього місця.
- Провести огляд та перевірити справність пристосувань та інструменту. Якщо виявлено несправний інструмент його заборонено до використання. Про це необхідно повідомити відповідальну особу.
- Перевірити справність устаткування та обладнання. Обов'язково необхідно провести перевірку механізмів приводу устаткування та надійності кріплення окремих елементів їх конструкцій.
- Переконавшись у надійності заземлення всіх електроустановок та обладнання. За необхідності привести їх у відповідність до нормативних вимог.
- Перевірити якість освітлення робочої зони та окремих її ділянок. У випадку виявлених відхилень необхідно повідомити керівнику робіт.
- Починати роботу дозволяється тільки у випадку виконання всіх наведених вимог та за умови відсутності небезпеки щодо виконання робіт.

Вимоги безпеки під час виконання роботи.

Під час виконання експериментальних робіт на машині тертя СМТ-1 забороняється:

- відволікатися від працюючої машини;
- встановлювати та знімати зразки для досліджень вручну, необхідно використовувати спеціальний інструмент;
- просовувати руки в робочу зону тертя;
- зняття захисних кожухів машини тертя;
- виконувати налаштування машини при її роботі;
- перевищувати рекомендовані режими роботи машини;
- спиратися на машину під час її роботи;
- допускати в робочу зону сторонніх працівників (осіб).

У випадку виявлення відхилень в режимах роботи машини чи несправностей необхідно терміново зупинити роботу та довести інформацію щодо відхилень керівнику роботи.

Вимоги безпеки праці після закінчення робіт з машиною тертя СМТ-1.

Після закінчення запланованих робіт необхідно вимкнути обладнання та устаткування. Після цього потрібно виконати прибирання залишки продуктів зносу та мастильних матеріалів (якщо такі використовувались). Інструменти до пристосування, які використовувались при роботі необхідно розмістити в спеціально відведених для цього місцях. Після цього потрібно зняти спецодяг, взуття та інші індивідуальні засоби захисту та здати їх на зберігання. Наступним кроком є миття рук та обличчя. У випадку необхідності та за умови присутності душових кабін необхідно прийняти душ. Після цього працівник може перевдягнутися у звичайний одяг. Крім цього необхідно коротко довести до керівники виявлені недоліки або відхилення у роботі обладнання.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

При виконанні робіт на машині для дослідження зразків на тертя та зношування СМТ-1 можуть виникнути такі аварійні ситуація як:

- загорання електроустаткування чи мастильних матеріалів, що використовуються при дослідженнях;

- отримання удару електричним струмом у випадку пошкодження ізоляції та ненадійного заземлення;
- руйнування або пошкодження елементів конструкції, які обертаються;

У випадку аварійної ситуації в залежності від її характеру виконати певні обов'язкові заходи задля захисту працівників від небезпечних або шкідливих наслідків.

Першочергово необхідно зупинити роботу машини та забезпечити недопускання до небезпечної зони інших працівників, якщо для їх життя чи здоров'я є загроза. Однією з вимог є мінімізація змін в робочій зоні до прибуття спеціальної комісії чи працівників спеціальних служб. У випадку виникнення пожежі необхідно розпочати її ліквідацію підручними засобами, викликати ДСНС та поставити до відома керівника робіт [20]. У разі наявності потерпілих необхідно спочатку звільнити його від дії небезпечного фактору та за необхідності надати першу домедичну допомогу до прибуття працівників швидкої медичної допомоги.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічний ефект від впровадження нових заходів, розроблених чи удосконалених конструкцій механізмів та машин можна отримати або шляхом збільшення доходу при незмінному або незначному збільшенню витрат, або шляхом зменшення витрат на технічне обслуговування, ремонт при забезпеченні того ж рівня надійності техніки. Будь яка сільськогосподарська техніка має значну кількість трибоспряжень. Режими деяких із них не потребують додаткового захисту від негативної дії зовнішнього середовища та необхідності в змащуванні. При цьому, більшість трибоспряжень сучасної сільськогосподарської техніки має значну частину рухомих з'єднань, що потребують мащення. Так, наприклад двигуни внутрішнього згорання мають спеціально розроблену систему мащення. Основна її задача – створення режиму рідинного мащення в зоні трибоспряжень, що працюють в жорстких режимах експлуатації: циліндро-поршнева група, клапани газорозподільчого механізму та їх направляючі, колінчастий вал-вкладиш та ін. Крім цього моторне мастило повинно забезпечувати захист трибоспряжень від надмірного зносу, отже до збільшення їх довговічності. Підвищення довговічності трибоспряжень ДВЗ дозволяє подовжити напрацювання до капітального ремонту, таким чином експлуатаційні витрати транспортних чи енергетичних засобів зменшуються, а коефіцієнт їх використання зростає.

Визначення економічної ефективності використання різноманітних моторних мастил виконаємо на прикладі двигуна внутрішнього згорання автомобіля Lanos моделі F16D3 (1,6 л). Основні технічні характеристики обраного двигуна, які необхідні для розрахунку економічної ефективності: потужність двигуна – 109 к.с. (визначена за частоти обертання колінчастого валу – 5800 хв^{-1}), витрата палива в змішаному циклі експлуатації – 7,5 л/100 км, періодичність заміни моторного мастила – 15000 км пробігу, ресурс двигуна до капітального ремонту – 250 тис. км.

Одержані результати при визначені властивостей моторних мастил дозволили встановити, що при використанні мастила Xado спостерігається зниження інтенсивності зносу на 17,7 % у порівнянні із результатами отриманими при роботі трибоспряження в середовищі мастила Zic X5. Тому, в якості базового мастила для порівняння приймаємо мастило Zic X5, а в перспективі плануємо використовувати мастило Xado. Таким чином вважаємо, що при використанні першого варіанту маємо ресурс, який становить нормативний показник рекомендований виробником, а саме – 250000 км пробігу. Для другого варіанту вважаємо, що ресурс зросте пропорційно зменшенню величині інтенсивності зносу на 18 %, і буде становити – 295000 км.

При цьому необхідно враховувати, що вартість обраних моторних мастил суттєва. Вартість моторного мастила Zic X5 10W40 об'ємом 4 л становить – 520 грн, Xado Atomic 10W40 – 830 грн. Враховуючи більш стабільний момент тертя при проведенні експериментальних досліджень та незначні відкладення, що накопичуються в борознах поверхонь тертя трибоспряжень вважаємо, що витрата палива зменшиться на 0,2...0,3 л/100 км.

Визначення економічної ефективності використання моторного мастила для підвищення довговічності двигунів внутрішнього згоряння проведемо на основі витрат на заміну мастила до капітального ремонту у випадку використання базового мастила та мастила, що дозволяє збільшити ресурс двигуна.

Загальні витрати до капітального ремонту з врахуванням витрат на його проведення та експлуатацію автомобіля визначимо з виразу [21]:

$$C_{\text{ит}} = C_{\text{м}} + C_{\text{пал}} + C_{\text{мот.маст}}, \quad (5.1)$$

де, $C_{\text{м}}$ – сумарні витрати на амортизацію, КР, ПР, та технічне обслуговування, грн. / км;

$C_{\text{пал}}$ – витрати на паливно, грн. / км.

$C_{\text{мот.маст}}$ – питомі витрати на моторне мастило, грн. / км.

Спочатку визначимо економічний ефект від зниження витрати палива у розрахунку на одиницю пробігу за формулою:

$$C_{нал} = (C_k \cdot g_{га}) / 100 \quad (5.2)$$

де C_k – вартість 1 л палива, приймаємо 31 грн. / л;

$g_{га}$ – норма витрати палива, л/100 км. Враховуючи наведені вище дані приймаємо – 7,5 л / 100 км для базового варіанту, та 7,2 л/100 км – для проектного.

Враховуючи приведені дані, маємо:

$$C_{нал}^б = (31 \cdot 7,5) / 100 = 2,325 \text{ грн / км}$$

$$C_{нал}^п = (31 \cdot 7,2) / 100 = 2,232 \text{ грн / км}$$

Витрати на проведення технічного обслуговування, капітального та поточного ремонтів для автомобіля Lanos моделі F16D3 визначаємо з виразу:

$$C_m = \left[\frac{B_m \cdot a_{pm} \cdot g_{км} \cdot 0,76}{100 \cdot G_{рікн}} + \frac{(C_{прм} + C_{том} + C_{зм}) \cdot g_{га} \cdot 0,76}{10000} \right], \quad (5.3)$$

де B_m , a_{pm} – балансова вартість (грн.) та нормативні значення обсягів відрахувань на амортизацію та реновацію ДВЗ, приймаємо – 11 %. Балансова вартість автомобіля Lanos, обладнаного ДВЗ моделі F16D3 складає 85000 грн.

$C_{прм}$, $C_{том}$, $C_{зм}$ – питомі норми витрат на виконання поточного ремонту та технічного обслуговування (грн). Приймаємо для базового варіанту та проектного величину – 8,5 %.

$G_n^{рік}$ – ресурс ДВЗ до капітального ремонту, приймаємо для базового варіанту – 250000 км, для проектного – 295000 км.

Величина питомих експлуатаційних витрат для базового варіанту становить:

$$C_m^б = \left(\frac{85000 \cdot 11 \cdot 7,5 \cdot 0,76}{100 \cdot 250000} + \frac{7225 \cdot 7,5 \cdot 0,76}{10000} \right) = 4,331 \text{ грн / км}$$

Питомі експлуатаційні витрати для проектного варіанту становить:

$$C_m^п = \left(\frac{85000 \cdot 11 \cdot 7,2 \cdot 0,76}{100 \cdot 295000} + \frac{7225 \cdot 7,2 \cdot 0,76}{10000} \right) = 4,126 \text{ грн / км}$$

Питомі витрати на моторне мастило визначаємо з виразу:

$$C_{\text{мот.маст.}} = \Pi_{\text{мот.маст.}} / \Pi_{\text{ТО}}, \quad (5.4)$$

де $\Pi_{\text{мот.маст.}}$ – вартість моторного мастила необхідного для проведення заміни, відповідно до регламенту виробника, грн.;

$\Pi_{\text{ТО}}$ – періодичність проведення заміни моторного мастила, км пробігу.

Величина питомих витрат на моторне мастило становить:

$$C_{\text{мот.маст.}}^{\text{б}} = 520 / 15000 = 0,035 \text{ грн / км}$$

$$C_{\text{мот.маст.}}^{\text{н}} = 830 / 15000 = 0,055 \text{ грн / км}$$

Сумарні експлуатаційні витрати для базового та проектного варіантів маємо:

$$C_{\text{ит}} = 2,325 + 4,331 + 0,035 = 6,69 \text{ грн / км}$$

$$C_{\text{ит}} = 2,232 + 4,126 + 0,055 = 6,41 \text{ грн / км}$$

Таким чином, економічний ефект на 1 км пробігу автомобіля становить:

$$E_{\text{еф}}^{\text{км}} = C_{\text{ит}}^{\text{б}} - C_{\text{ит}}^{\text{н}} = 6,69 - 6,41 = 0,28 \text{ грн / км}$$

У випадку середньостатистичного пробігу вказаної марки авто 20000 км (так як більшість таких автомобілів використовується, як службовий транспорт) маємо економічний ефект:

$$E_{\text{еф}}^{\text{рік.екс}} = L \cdot (C_{\text{ит}}^{\text{б}} - C_{\text{ит}}^{\text{н}}) = 20000 \cdot (6,69 - 6,41) = 5600 \text{ грн}$$

Якщо врахувати, що використання моторного мастила, яке дозволяє підвищити довговічність трибоспряджень ДВЗ, призводить до збільшення ресурсу, то економічний ефект складе:

$$E_{\text{еф}}^{\text{ресурс}} = 295000 \cdot (6,69 - 6,41) = 82600 \text{ грн}$$

Одержані результати дозволяють спрогнозувати підвищення ресурсу ДВЗ, зменшити експлуатаційні витрати та поліпшити умови роботи трибоспряджень.

Визначені показники заносимо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники

Назва показника	Одиниця виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
Модель ДВЗ (авто)	-	F16D3 1,6 л (Daewoo Lanos)	
Пробіг до капітального ремонту	км	250000	295000
Витрати палива в змішаному циклі	л / 100 км	7,5	7,2
Експлуатаційні витрати всього, у т.ч.:	грн./км	6,69	6,41
- паливо		2,325	2,232
- моторне мастило		0,035	0,055
- амортизація, ПР, ТО, та ін		4,331	4,126
Середній річний економічний ефект (за умови пробігу 20000 км)	грн.	-	5600

Висновки до розділу. Економічний ефект від використання запропонованого моторного мастила заснований на зменшенні експлуатаційних витрат на 0,28 грн/км. Річний економічний ефект, з врахуванням пробігу автомобіля за вказаний термін – 20000 км, складе 5600 грн. Крім цього, передбачається, що ресурс ДВЗ при експлуатації на вказаному мастилі збільшиться на 18 % за рахунок підвищення довговічності трибоспряжень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано основні методи підвищення довговічності трибоспряжень, їх переваги та недоліки. Розглянуто стан наукових досліджень в обраному напрямку. Встановлено, що одним із перспективних шляхів підвищення довговічності трибоспряжень є використання мастильних матеріалів з різними властивостями та характеристиками. Відомо, що кожен виробник мастила для ДВЗ позиціонує свою продукцію, як еталон, що дозволяє найкраще захистити трибоспряження від інтенсивного зношування та підвищити їх довговічність. При цьому, вартість моторних мастил одного класу в'язкості може відрізнятись в декілька разів. Тому, для визначення реальної ефективності мастильних матеріалів, щодо підвищення довговічності трибоспряжень, необхідно виконувати експериментальні дослідження тільки за допомогою спеціального обладнання та устаткування.

2. Розроблено програму досліджень, наведені методики проведення експериментальних досліджень властивостей мастильних матеріалів на довговічність трибоспряжень

3. Встановлено, що момент тертя при використанні різних моторних мастил за прийнятих режимів тертя трибоспряження (тиск – 7 МПа, лінійна швидкість ковзання – 1,5 м/с) відрізняється незначно, 1,13 Н·м – для ZIC, та 1,15 Н·м – для Xado. При цьому, слід зазначити, що при мащенні моторним мастилом Xado зафіксовано кращу стабільність моменту тертя, у порівнянні з роботою з мастилом ZIC. Визначено, що інтенсивність лінійного зносу при використанні мастила Xado на 17,7 % менша. Зафіксована динаміка підвищення температури – поступова, максимальне значення температури в зоні тертя при мащенні мастилом ZIC становило – 84,5 °С. Встановлено, що максимальна температура в зоні тертя при використанні моторного мастила Xado склала 90,0 °С. Динаміка зростання температури – поступова. Металографічних досліджень поверхні диску при мащенні моторними мастилом Xado зафіксовано незначні накопичення частинок в борознах та на їх периферіях. Вказані накопичення, скоріше за все, це спеціальні модифікатори тертя, що призводять

до зменшення інтенсивності зношування поверхонь, і як результат до підвищення довговічності трибоспряжень.

4. Наведено потенційно небезпечні та шкідливі фактори при роботі із машинами для дослідження матеріалів на тертя та зношування. Розглянути правила безпеки виконання робіт при проведенні експериментальних досліджень.

5. Економічний ефект від використання запропонованого моторного мастила заснований на зменшенні експлуатаційних витрат на 0,28 грн/км. Річний економічний ефект, з врахуванням пробігу автомобіля за вказаний термін – 20000 км, складе 5600 грн. Крім цього, передбачається, що ресурс ДВЗ при експлуатації на вказаному мастилі збільшиться на 18 % за рахунок підвищення довговічності трибоспряжень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мак-Мак Н.Е. Влияние цементации и заковки от различных температур на износостойкость и шероховатость изношенной поверхности конструкционных сталей / Н.Е. Мак-Мак, М.А. Рябикина, А.П. Чейлях // Проблеми тертя та зношування. – 2015. – Вип. 4 (69). – С. 75-81.
2. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2021. - 89 с
3. Чейлях А.П. Связь износостойкости, шероховатости поверхности и параметров заковки цементованных конструкционных сталей / А.П. Чейлях, М.А. Рябикина, Н.Е. Мак-Мак // Вісник ПДТУ: зб. наук. праць. – Маріуполь. – 2017. – Вип. 34. – С. 30-39. – (Сер.: Технічні науки). (НБД Index Copernicus).
4. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.04 / Аулін Віктор Васильович; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2015. – 36 с.
5. Василенко І.Ф. Підвищення довговічності валів посівних машин композиційними покриттями. Автореферат дис канд. техн. наук.– Кіровоград: КДТУ, 2001.– 16 с.
6. Бабаев И.А. Исследование и разработка технологии восстановления деталей порошковыми композиционными покрытиями – автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства техн. обслуживания в сельском хозяйстве" / И.А. Бабаев. – М., 1982. – 17 с.
7. Аулін В.В. Вплив модифікуючих фізичних полів на структуру та реологічні властивості ком-позиційної моторної оливи / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький. – 2012. – № 4. – С.28-33.
8. Аулін В.В. Вплив модифікування композиційних моторних олив магнітним полем на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей / В.В. Аулін, О.В. Кузик, О.Д. Мартиненко // Вісник Харківського нац. техн.

університету сільск. господарства ім. П.Василенка. – Харків, 2011. – Вип. 118. – С. 268-273.

9. Деркач О.Д. Дослідження захисного шару, утвореного силікато-фулереновим геомодифікатором / О. Д. Деркач, Б. Г. Харченко, О. С. Кабат, Д.О. Макаренко, Г. Я. Міщенко // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. – Харків, 2014. – Вип. 146. – С. 246-250.

10. Аулин В.В. Триботехнология восстановления деталей мобильной сельскохозяйственной техники и транспортной техники модификацией моторного масла фуллеренсодержащим составом / В.В. Аулин, А.Д. Деркач, А.И. Буря, Д.А. Макаренко, Г.Я. Мищенко // Тракторы и сельхоз машины. – Москва, 2014. – №4. – С. 26-29.

11. Замота Т.Н. Повышение ресурса основных сопряжений транспортных машин управлением процесса приработки электрохимико-механическим методом. / Т.Н. Замота, В.В. Аулин. // Матеріали VIII міжн. наук.-практ. конф. "Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 19-21 жовтня 2015 року: зб. наук. праць. / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ. - 2015. – С. 19-22.

12. Аулін В.В. Вплив модифікуючих фізичних полів на структуру та реологічні властивості композиційної моторної оливи / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький. – 2012. – № 4. – С.28-33.

13. Деркач О.Д. Обґрунтування параметрів обертових елементів робочих органів зернозбиральних комбайнів: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2006. – 20 с.

14. Макаренко Д. О. Підвищення довговічності паралелограмного механізму посівних комплексів зміною конструкції рухомих з'єднань: Дис.. канд. техн. наук: 05.05.11. – Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2018. 185 с.

15. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII.

16. Наказ МОЗ «Про затвердження Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» від 27.12.2001 N 528.

17. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 N 2245-III

18. НПАОП 0.00-4.12-05. Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці та Переліку робіт з підвищеною небезпекою. Наказ Державного Комітету України з нагляду за охороною праці № 15 від 26.01.2005 р.

19. Інструкція з охорони праці при роботі на машині тертя. Сумський державний університет. – 2020. – 4 С.

20. Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом МНС від 19.10.2004 № 126.

21. Ільченко В.Ю., Кобець А.С., Мельник В.П. та ін. Практикум з використання машин у рослинництві. Дн-ськ, ДДАУ, 2002. – 212с.

22. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт для студентів інженерно-технологічного факультету денної та заочної форм навчання за спеціальністю 208 «Агроінженерія» ступінь вищої освіти «Магістр» / Дудін В.Ю., Кобець О.М., Мельянцов П.Т. – Дніпро: ДДАЕУ, – 2018. – 32 С.

ДОДАТКИ