

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МАШИННИХ  
АГРЕГАТІВ ЗАСТОСУВАННЯМ МОДИФІКОВАНИХ  
ФУЛЕРЕНОВМІСНИМИ ПРОДУКТАМИ МОТОРНИХ ОЛИВ**

**Виконав:** здобувач вищої освіти групи МгМз-1-20 за  
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_Віктор СКОЧИНСЬКИЙ

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Олег КАБАТ

**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**

Скочинському Віктору Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Підвищення експлуатаційних показників машинних агрегатів застосуванням модифікованих фулереновмісними продуктами моторних олів»

керівник роботи Олег КАБАТ, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_

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

затверджені наказом ДДАЕУ від

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року № \_\_\_\_\_

2. **Строк подання студентом роботи** 05.02.2022 р. \_\_\_\_\_

3. **Вихідні дані до роботи.** Навчальні посібники: «Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві» (1993 р.), «Дипломне проектування з машиновикористання в рослинництві» (2007 р.), результати наукових досліджень кафедри ЕМТП, наукові публікації з проблематики дослідження фулереновмісних компонентів, сайти виробників таких продуктів, інші джерела за темою дипломної роботи.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальний стан питання. 2. Система технічного сервісу машинних агрегатів та проблеми зношування їх двигунів. 3. Експериментальна

частина. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях 5. Економічне обґрунтування роботи. Загальні висновки. Бібліографічний список.

## **5. Перелік демонстраційного матеріалу**

1. Титульний лист. 2. Тема, мета, завдання. 3. Аналіз стану питання. 4. Методи досліджень. 5, 6, 7. Результати досліджень. 8. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 9. Економічне обґрунтування роботи. 10. Висновки

## **6. Консультанти розділів роботи**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кабат О.С., доц. каф. ЕМТП		
2	Кабат О.С., доц. каф. ЕМТП		
3	Кабат О.С., доц. каф. ЕМТП		
4	Кравець В.В., доц. каф. ЕМТП		
5	Вініченко І.І. проф., зав. каф. економіки		
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 10.06.2021 р.

## **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 10.10.2021 р.	
2	Теоретичний	до 10.11.2021 р.	
3	Експериментально - розрахунковий	до 29.11.2021 р.	
4	Охорона праці	до 15.12.2020 р.	
5	Економічний	до 24.01.2022 р.	
6	Демонстраційна частина	до 01.02.2022 р.	

Студент ( підпис ) \_\_\_\_\_ Віктор СКОЧИНСЬКИЙ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи ( підпис ) \_\_\_\_\_ Олег КАБАТ (прізвище та ініціали)

## Реферат

Скочинський В. Підвищення експлуатаційних показників машинних агрегатів застосуванням модифікованих фулереновмісними продуктами моторних оливо. ДДАЕУ, 2022 р. – 64 с.

В роботі вирішено проблему підвищення експлуатаційних властивостей машинно-тракторних агрегатів шляхом застосування модифікованих фулереновмісними продуктами оливо. Наведений аналіз даної проблеми, шляхи вирішення. Проведено цикл лабораторних досліджень та проведено польові випробування, де доведено ефективність застосування фулереновмісних оливо.

Робота складається з пояснювальної записки формату А 4, виконаної на 64 сторінках, додатків та супроводжувальних презентаційних слайдів, виконаних в програмі Power Point.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПИТАННЯ.....	9
1.1. Відкриття фулеренів, як основного активного елемента змащувальних композицій.....	9
1.2. Деякі напрямки використання фулеренів.....	12
1.3. Сучасні проблеми зносу в машинних агрегатах та їх наслідки.....	13
1.4. Обґрунтування теми дипломної роботи.....	19
2. СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИНИХ АГРЕГАТІВ ТА ПРОБЛЕМИ ЗНОШУВАННЯ ЇХ ДВИГУНІВ .....	21
2.1. Проблеми технічного сервісу машинних агрегатів .....	21
2.2. Методи вимірювання параметрів трибоспряжень .....	24
2.3. Огляд моторних олиव.....	27
2.4. Характеристика силікато-фулеренових модифікаторів .....	33
Висновки по розділу.....	37
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	38
3.1. Програма досліджень.....	38
3.2. Результати лабораторних досліджень.....	39
3.3. Результати виробничих випробувань.....	44
Висновки по розділу .....	46
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	48

4.1.Значення охорони праці.....	48
4.2. Охорона праці при проведенні наукових досліджень .....	50
4.3.Безпека праці при роботі з присадками для олив .....	50
4.4. Розробка карти безпеки праці при проведенні лабораторних трибологічних досліджень з використанням геомодифікатора «Мегафорс».....	52
Висновки по розділу.....	55
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ.....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СОК.....	СПИ- 62
Додатки	

## ВСТУП

Ще в 60-х роках минулого століття визначним українським вченим-трибологом Б.І. Костецьким було доведено, що 85-90% металевих деталей тертя машин і механізмів виходять з ладу за причини їх зносу. І лише 10-15 % деталей тертя мали відмови унаслідок недостатньої міцності [9]. Аналогічний результат отримали російські вчені в середині 90-х років в Якутії, які досліджували роботу японської техніки Yakimoto на відкритих кар'єрах.

Зменшити знос деталей трибоспряжень можна за рахунок застосування змащувальних матеріалів. Сучасне машинобудування сьогодні ще неможливо уявити без їх застосування. До таких відносяться моторні, трансмісійні та інші оливи, пластичні матеріали, присадки. Застосування змащувальних матеріалів дозволяє, крім того, вирішити ряд технічних завдань: зменшити витрату енергії тертя; відвести тепло від елементів трибоспряжень; забезпечити захист деталей від корозії. Важливою і обов'язковою функцією змащувальних матеріалів є відведення продуктів зносу із зони тертя; герметизація трибоспряжень (наприклад, пара тертя «Кільце поршня – гільза» в циліндро-поршневій групі). Сьогодні, оливи створені таким чином, що в цілому відповідають наведеним вище вимогам. Тим не менш, за інтенсивного тертя в трибоспряженнях присутні ефекти розшарування, проникнення матеріалу в матеріал (ефект дифузії), агрегатних утворень. І часто це призводить до певного переструктурування підповерхневого шару в околі тертя. Причиною цьому часто є рух атомів водню у зону підвищених температур. Тобто водень буде рухатися саме в зону підповерхневого шару, бо там, в результаті тертя, виникає пластична деформація контак-

тних поверхонь, і там присутня найбільші температура. Сьогодні цей процес зупинити неможливо. Можна лише призупинити його за рахунок застосування силікато-фулеренових змащувальних композицій, виготовлення яких стало можливим у серійних обсягах. Як стверджують виробники, ефект відновлення деталей газорозподільчого, кривошипно-шатунного механізму, трансмісії, очевидний.

Проте ці результати подаються споживачеві в узагальненому виді або у вигляді реклами, а науково обгрунтовані матеріали виробники (дистриб'ютори) не надають.

В Дніпровському державному аграрному університеті із залученням наукових співробітників кафедри експлуатації машинно-тракторного парку та міжфакультетської проблемної науково-дослідної лабораторії технічного сервісу машин, сумісно з фахівцями науково-виробничої фірми «Мегафорс» були проведені дослідження триботехнічних характеристик силікато-фулеренових композицій.

## 1. ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПИТАННЯ

### 1.1. Відкриття фулеренів, як основного активного елемента змащувальних композицій

Відкриття в 1985 році нової молекулярної форми вуглецю – фулеренів дозволило розширити коло синтезованих матеріалів з особливими фізико-хімічними властивостями [1]. Фулерени являють собою унікальний природний об'єкт. Уряди США і Японії визнали нанотехнології, як одну із трьох базових технологій, які будуть інтенсивно розвиватися у 21 сторіччі [2].

Приставка «нано» (від грецького слова nanos — карлик) означає одну мільярдну частку вихідної одиниці виміру, тобто нанометр (нм) становить одну мільярдну частку метра.

По визначенню фахівців, нанокластерні вуглецеві матеріали - це матеріали, що включають в собі або, що складаються із вуглецевих часток (кластерів) з розмірами до декількох десятків нанометрів. Завдяки цьому кластери можуть поводитися як окремі незалежні частки. Як правило в таких випадках проявляються специфічні властивості фулеренів та їх похідних речовин.

До них відносяться самі фулерени, фулеренова сажа й чернь, вуглецеві нанотрубки, нановолокна і т.п.

Головною особливістю фулеренів є їхня підвищена реакційна активність. Вони легко захоплюють атоми інших речовин і утворюють матеріали із принципово новими властивостями. Фулерени можуть бути використані як «наноце-глинки» для конструювання матеріалів із заданими параметрами.

Дослідження в області структурних особливостей і фізико-хімічних властивостей атомних кластерів, фулеренів і нанотрубок дозволяють більш глибоко зрозуміти процеси й закономірності структуроутворення традиційних матеріалів, створювати нові класи надпровідних, напівпровідникових, діелектричних, магнітних матеріалів, класи нових матеріалів і плівкових систем із заданим рівнем властивостей, нові типи екологічно чистих джерел енергії, різних палив і добавок до них, нові класи антифрикційних покриттів і змащень. Відкриття фулеренів має свою передісторію. Можливість їх існування була передбачена ще в 1971 році японським вченим Осавою [3]. А вже у 1973 році радянські вчені теоретично обґрунтували існування фулерена [4].

У 1985 році група дослідників: Роберт Керл, Харолд Крото, Ричард Споллі, Хіт і О'Брайен при дослідженні мас-спектрів пари графіту, отриманого при лазерному опроміненні твердого зразка, виявили піки з максимальною амплітудою. Ці піки відповідали кластерам, що склалися із 60 і 70 атомів вуглецю. Тоді вони й припустили, що дані піки можуть відповідати молекулам  $C_{60}$  і  $C_{70}$  і висунули гіпотезу, що молекула  $C_{60}$  має форму усіченого ікосаедра (рис. 1.1). Для молекули  $C_{70}$  була запропонована структура з більш витягнутою еліпсоїдальною формою. Поліедричні кластери вуглецю одержали назву фулеренів, а найпоширеніша молекула  $C_{60}$  - бакмінстерфулерена, за іменем американського архітектора Бакмінстера Фулера [5], що застосовував для будівлі куполів своїх будинків п'яти- і шестикутники, що є основними структурними елементами внайдених молекул [5].

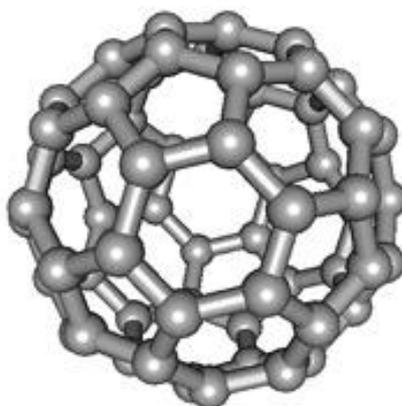


Рис.1.1. Модель молекули фулерена  $C_{60}$

За відкриття фулеренів Крото, Смоллі й Керлу в 1996 року була присуджена Нобелівська премія. Відкриття цієї молекули завбільшки один нанометр було визнано одним з дивних і найважливіших відкриттів у науці ХХ сторіччя. У привітальній мові Нобелівського комітету це відкриття по значимості рівнялося з відкриттям Америки Колумбом.

Фулерени, як четверта форма вуглецю, відносяться до самовпорядних структур, що має особливі властивості: умовно «важкі» умови отримання, стійку структуру, високі трибологічні властивості. Також вони розчинні в органічних розчинниках (бензол, гексан, сірковуглець). Однак, основною структурною особливістю фулеренів, що вирізняє його серед інших форм вуглецю (графіт, алмаз) є те, що його молекула має внутрішню порожнину. Внутрішній діаметр цієї порожнини знаходиться в межах до 0,5 нанометрів, а зовнішній – 0,71 нм. Менш поширеним є фулерен  $C_{70}$ , що відрізняється від фулерену  $C_{60}$  наявністю своєрідного атомного поясу, який складається з 10 атомів вуглецю в екваторіальній області молекули  $C_{60}$ . У результаті такої «вставки» атомного поясу, молекула  $C_{70}$  має витягнуту й овальну форму (рис. 1.2).

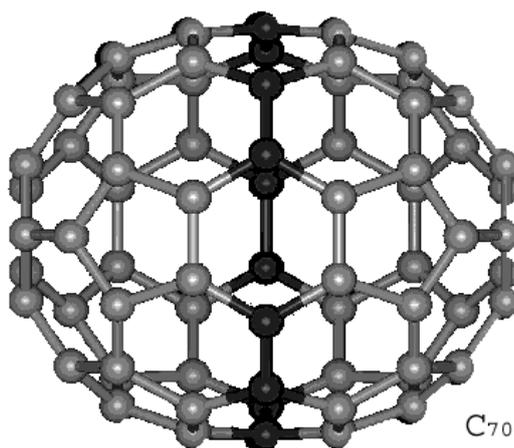


Рис. 1.2. Уявна атомна модель фулерена  $C_{70}$ .

Науковими дослідженнями структури фулеренів виявлено, що молекули з числом атомів вуглецю більше 32 дуже стійкі й також мають форму геодезич-

ного купола. Згодом вчені Р. Ф. Керл і Р. Є. Смоллі виявили фулерени, що містять від 28 до 100 атомів вуглецю. Однак найбільш стійкі та стабільні були молекули  $C_{60}$  і  $C_{70}$ . Вони утворюють стійкі з'єднання і не руйнуються з часом. Виникла думка, що фулерени можна додавати у різні технологічні рідини, наносити їх тонким шаром на робочу поверхню, наприклад, деталей тертя чи медичного обладнання та інструментів [16].

## **1.2. Деякі напрямки використання фулеренів**

Високі трибологічні та механічні властивості фулеренів дозволяють використовувати їх у якості ефективного твердого мастила або добавок до рідких змащувальних матеріалів.

Сьогодні фулерени знайшли застосування в різних галузях промисловості [8, 10, 16]. Застосування фулеренів в якості покриття сталі забезпечує підвищення зносостійкості й термостійкості (за рахунок високої термостійкості самого фулерену). А от додавання їх в чавун збільшує його пластичність.

Фулеренове покриття кераміки в рази знижує коефіцієнт тертя, а введення фулеренів або сажі в армовані пластики й полімерні композити значно знижує коефіцієнт тертя, підвищує термостійкість і радіаційну стійкість, приводить до збільшення міцнісних характеристик. Фулерен  $C_{60}$  також знаходить застосування в косметиці й медицині [6].

Один із напрямків досліджень застосування фулеренів пов'язаний зі сподіваннями одержати принципово нові пристрої або матеріали з характеристиками, що набагато перевершують їх сучасний рівень. Другим напрямком є розробка нанотехнологій як міждисциплінарних областей досліджень, у яких інтенсивно працюють фахівці з фізики, хімії, біології, медицини, технології, наук про Землю, комп'ютерній техніці, економіці, соціології і т.д.

Дослідження останніх років продемонстрували важливу роль наноструктур у різних галузях науки й техніки (фізика, хімія, матеріалознавство, біологія, медицина і т.д.). Наприклад, було виявлено, що вуглецеві нанотрубки мають

вищу майже не порядок міцність, ніж у сталі. Але вони мають питому вагу, меншу в 6 разів. Відомо також, що такі наночастки здатні (хоч і не повністю) проникати в ракові клітини й вражати їх. Окремі фулеренові структури можуть у мільйони разів підвищити швидкодію обчислювальної техніки [8]. Слід зазначити, що у зв'язку з поглибленням знань про будову й функціонування природних об'єктів і живих організмів на молекулярному рівні дослідники намагаються розробити загальний підхід до одержання й використання штучних матеріалів з нанорозмірною структурою.

По суті, є очевидним, що всі природні матеріали й системи побудовані з нанооб'єктів. Саме в інтервалі нанорозмірів, на молекулярному рівні, природа «програмує» основні характеристики речовин, явищ і процесів. Але для нас, як для фахівців у галузі агроінженерії важливий розвиток особливого напрямку нанотехнології – це дослідження й застосування нанокластерних вуглецевих матеріалів (фулеренів, фулеренової сажі, фулеренової черні, вуглецевих нанотрубок, нановолокон і т.п.) у використанні машин і агрегатів.

В останній час ряд наукових робіт присвячено дослідженню застосування фулереновмісних матеріалів в машинних агрегатах та окремих трибоспряженнях [17 - 19]. Цими роботами займаються і сьогодні Аулін В.В., Деркач О.Д., Кабат О.С., Гриньків А.В. та інші. Результати лабораторних досліджень показують, що при додаванні певної кількості фулереновмісних речовин у змащувальні матеріали (оливи), підвищуються якісні показники трибоспряжень: зростає герметичність, підвищуються протизносні властивості. Так, в [19] показано, що оптимальна кількість фулереновмісної композиції в моторній оливі знаходиться в межах 0,1...0,3 %. При збільшенні цієї кількості ефект від її застосування не зростає, але й не спадає. Цим пояснювали економічно обґрунтований склад модифікатора. Як це впливає на технічні властивості двигунів, гідросистем та інших систем і механізмів, автори дослідили. Як за рахунок цього можна підвищити ефективність машинних агрегатів і чи доцільно це робити – таких досліджень або немає, або вони неповні, з великими припущеннями.

### 1.3. Сучасні проблеми зносу в машинних агрегатах та їх наслідки

Як відомо, мастильні матеріали виконують одночасно декілька важливих функцій: зменшують знос деталей тертя, знижуючи, тим самим, витрату енергії на подолання тертя; відводять тепло від цих деталей; забезпечують захист деталі від корозії; відводять продукти зносу та інші домішки із зони тертя; герметизують вузли тертя [20, с. 14-15]. Сучасні змащувальні матеріали, як правило, відповідають цим вимогам. Проте, змащувальні мастила не можуть мати стабільні властивості протягом всього часу експлуатації машин. Вплив високих температур в зоні тертя (наприклад, при роботі ЦПГ, КПП тощо), наповнення продуктами зносу, молекулярні перетворення, насичення водневими сполуками призводять до втрати первинних властивостей мастил олив. Винахідник Г.М. Яковлев припустив, що «в результаті руху атомарного водню у бік підвищених температур, тобто в зону підповерхневого шару, який через виникнення пластичних деформацій на поверхні контакту, має найбільшу температуру, руйнується структура металу». Це провокує постійне зростання величини зносу. В результаті цього, жодні оливи, особливо моторні, не в змозі забезпечити якісний і тривалий захист деталей тертя від зношування. Зношування – основна причина відмов деталей тертя.

Розглянемо процес руйнування робочих поверхонь тертя металів, запропонований Яковлевим Г.М., більш детально. Два металевих тіла труться між собою з певним зазором (рис.1.3) за наявності оливи. Олива має необхідну в'язкість, щоб дотики, тертя та удари деталей трибоспряження були мінімальними. Проте, ми знаємо, що в будь-яких трибосистемах має місце радіальне биття. Його напрямок перпендикулярний площині тертя. Це явище спричинює періодичне та інтенсивне доторкання тіл між собою, що впливає на шорсткість поверхні (зазвичай, вона зменшується).

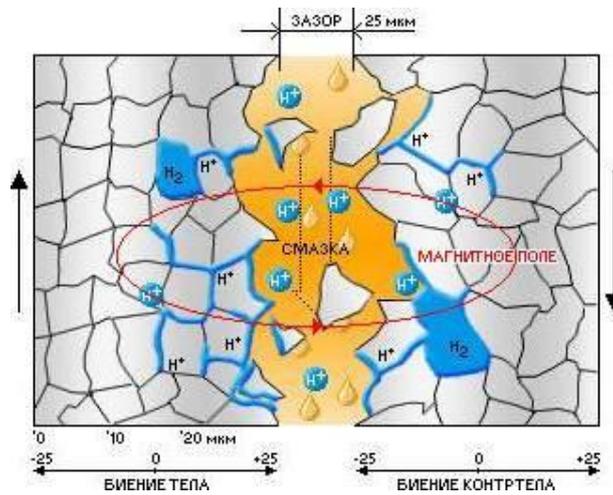


Рис. 1.3. Умовна схема зношування атомарним воднем в трибосистемі зі змащенням оливою.

Це явище є причиною появи первинного зносу. Певні зерна зі структури металів починають відколюватися – утворюються перші продукти зносу. Однак, найбільший знос спричинює не цей фактор. Справа в тому, що при терті двох металевих тіл завжди буде виникати магнітне поле певної напруженості. Його величина залежить від дуже багатьох факторів: режиму тертя (частота обертання, навантаження тощо); хімічного складу металів та оливи чи мастила, середовища експлуатації. Так як оливи чи мастила – це вуглеводні, у їх складі завжди будуть присутні водневі сполуки, під дією осередків магнітного поля, атомарний гідроген (водень)  $H^+$  вивільняється і певний час перебуває у вільному стані. Починається деструкція оливи (мастила). Відразу ж після такого вивільнення атоми  $H^+$  захоплюються магнітним полем і починають рухатися під його впливом. Величина зазорів в границях між зернами є достатніми для того, щоб туди потрапив під дією магнітного поля атомарний гідроген  $H^+$ . В той же час, такий стан гідрогену є нестійкий і короточасний. Іони гідрогену завжди прагнуть до об'єднання з іншими іонами, щоб утворити більш стійку сполуку – газ, формула якого  $H_2$  – це водень. Потрапляючи в міжзеренний простір металу, водень там накопичується. У разі, коли така ланцюгова реакція вже запущена, зупинити її фізично вже неможливо, а хімічних передумов у зоні тертя для зупинки цього процесу також не створено. Таким чином, накопичуючись, будемо говорити так, «всередині металевих тіл», тиск газу починає зростати в місцях його скупчення і надто швидко досягає настільки високих значень, що руйнує

зв'язки, які утримують зернину металу всередині – відбувається руйнування підповерхневого шару металів методом розклинювання. Крім того, зростання температури та удари, що відбуваються під час тертя спричинюють фізичні мікробухи водневого газу  $H_2$ , що теж є причиною надмірного руйнування робочої поверхні металевих тіл тертя. Зупинити цей процес будь-якими мастилами, оливами з присадками сьогодні неможливо, так як атом гідрогену є досить малим і активно проникає під дією магнітних полів через захисні шари, що можуть утворювати присадки на робочих поверхнях тертя. Поряд з цим процесом відбувається фізичний знос мікропіків, зазор продовжує зростати, а відтак – зростає биття тіл тертя і процес зносу починає підкріплюватись цими факторами знову і знову. Зазначимо, що жодні присадки, крім силікато-фулеренових на сьогодні не здатні заблокувати потрапляння атомарного гідрогену в міжзеренний простір металів. Активність описаного вище процесу залежить від режиму тертя трибоспряження. Відповідно, від швидкості протікання цього явища залежить і довговічність роботи трибоспряження. Ми вже говорили вище, що ще в 60-х роках минулого століття Б.І. Костецьким було доведено, що 85-90% металевих деталей тертя виходять з ладу за підвищеного зносу і тільки 10-15 – унаслідок недостатньої міцності [9]. Зменшити знос деталей тертя можна шляхом:

- виконанням регулювань під час регламентних ТО;
- заміною оливо, фільтрів;
- додавання в оливи модифікаторів (при цьому питання дотримання регламенту ТО залишається відкритим);
- використанням матеріалів, для яких не властива реакція вивільнення гідрогену  $H^+$  та його накопичення в міжзеренному просторі. Це можуть бути полімерні матеріали та композити на їх основі. Наразі, їхнє застосування, наприклад, в ЦПГ або ГРМ ДВЗ неможливе.

Як наведено в [21] «одними з основних техніко-експлуатаційних показників МТП виступають показники для оцінювання рівня його використання – загальний рівень виконання плану тракторних робіт, середньорічний виробіток

на трактор кожної марки, середньорічний (у. о. га/рік), коефіцієнт змінності, коефіцієнт використання річного робочого фонду часу тощо». Сьогодні нас цікавить, звичайно, середньорічний виробіток та коефіцієнт змінності. Чим вищий технічний рівень машинних агрегатів, тим вищих показників можна досягти. Таким чином, відбувається оптимізація складу МТП. Для ефективного використання потенційних тягових характеристик тракторів, необхідна стабільна потужність ДВЗ. Відомо, що потужність ДВЗ у проміжках від ТО до ТО змінюється. Так, наприклад, потужність двигуна трактора К-701 перед проведенням ТО-3 була на 27 % нижча від номінальної [22]. Заміна моторної оливи, мастил, фільтрів, проведення регулювань та відновлення деталей, які цього вже потребували, повертали потужність двигуна до номінальних значень. Однак, виконання регламентних робіт, як мінімум зменшує темпи робіт та середньорічний наробіток машинних агрегатів, як мінімум на 10 %. Наприклад, під час польових випробувань машинно-тракторного агрегату у складі Case MX 310 + Turbosem II 19-60 протягом 2014 року, агрегат перебував у регламентних ТО – 85 годин. Враховуючи продуктивність даного агрегату на рівні 4...6 га/год, це могла б бути площа в межах 320...480 га, засіяна в більш щільні терміни. А, отже – більш дружні сходи і, відповідно, урожайність. Якщо ТО не проводити вчасно або «посунути» його на кінець посівної кампанії, втрата потужності двигуна призведе до зниження продуктивності, зростання витрати пального і т.д. При цьому, як свідчать дослідження, потужність має бути чітко визначеною, бо закономірність тягового опору, хоч і носить стохастичний характер, все ж має виражену закономірність у багатократній відтворюваності (рис.1.4). Нерівномірність сил опору, що діють на робочі органи сільськогосподарських машин, обумовлені мінливістю зовнішніх факторів, включаючи фізичні і гранулометричні властивості ґрунту (наприклад, щільність), нерівності рельєфу [23].

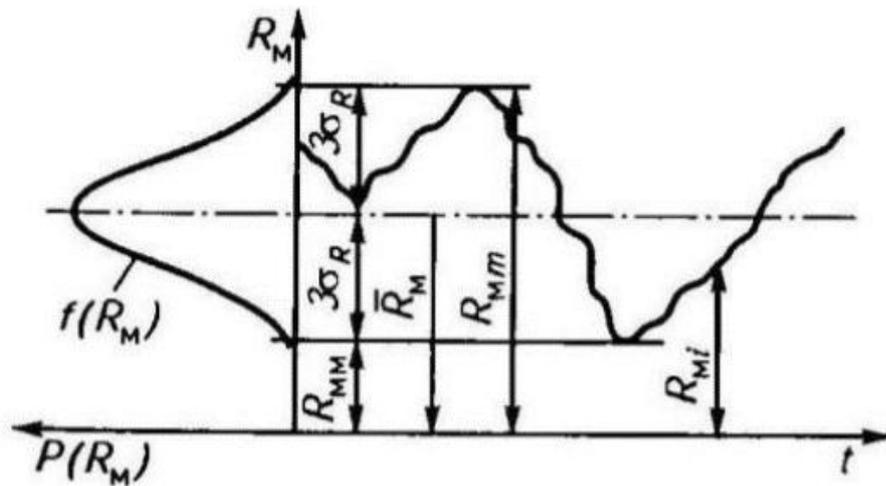


Рис.1.4. Зміна тягового опору машини (на прикладі орного агрегату).

Для подолання такого нерівномірного опору необхідно мати стабільну потужність двигуна, яка не буде явно знижуватись між регламентними ТО.

Тобто, фактично для підвищення ефективності роботи машинних агрегатів можливі такі шляхи (рис.1.5).



Рис.1.5. Найбільш суттєві шляхи підвищення експлуатаційних показників МТА.

До недоліків своєчасного проведення ТО машин слід віднести те, що час проведення ТО часто співпадає з виконанням польових робіт. На певний час МА має зупинитися. У деяких випадках це критично. Наприклад, під час посівної кампанії чи обробку гербицидами. Для цих операцій строки виконання операцій вкрай обмежені.

Використання конструкційних матеріалів – це той шлях удосконалення, по якому еволюційно йдуть всі виробники техніки. Його ефективність «розтягнута» у часі. Бо часто інженерні рішення, основані на застосуванні нових конструкційних матеріалів є дорогими для швидкого впровадження. Відтак, здійснюються пошуки здешевлення отримання тих чи інших матеріалів. Власне, третій шлях удосконалення є похідним від другого. Сьогодні технологія отримання фулереновмісних матеріалів стала більш дешевою у порівнянні з тим, якою була ще 10...25 років тому. І третій шлях, виділений нами, виокремився в самостійний напрямок. Передбачається, що додавання фулереновмісних олиव в моторну оливу суттєво зменшить величину зносу трибоспряжень. Таким чином, номінальні значення параметрів цих трибоспряжень повинні утримуватись більш тривалий час. Також можна припустити, що в деяких випадках, можна збільшити періодичність між ТО, забезпечивши, тим самим, повну роботоздатність МА в межах заданих параметрів.

Зважаючи на те, що затрати праці на технічне обслуговування в загальному балансі витрат на підтримку в працездатному стані, наприклад, трактора сільськогосподарського призначення, досягає 45,4 % [10], можна говорити про зменшення цих витрат. Сьогодні існує багато технологій, конструкцій, направлених на зменшення коефіцієнта тертя, подовження терміну служби тертьових поверхонь тощо. Однак, у сільському господарстві велику роль грає не тільки вартість енергетичних засобів (яка на сьогодні невпинно зростає), але і можливість вчасно провести агротехнологічні заходи – підготовку ґрунту, сівбу, догляд, збирання – без раптового виходу з ладу техніки чи зниження якості обробітку.

#### **1.4. Обґрунтування теми дипломної роботи**

Підвищення експлуатаційних показників МА без зупинки на регламентні ТО або ремонт – основна ідея впливу на параметри технічного стану трибоспряжень без їх розбирання. За рахунок так званої технології ревіталізації робо-

чих поверхонь тертя, яка здатна значно скоротити витрати як на ремонт, так і на технічне обслуговування і може бути ефективним заходом в технічному сервісі сільськогосподарських машин. Одним із способів безрозбірного ремонту (відновлення) деталей може бути застосування силікато-фулеренових змащувальних композицій, виготовлення яких стало можливим завдяки досягненням нанотехнологій. Ефект відновлення деталей циліндро-поршневої групи, газорозподільчого, кривошипно-шатунового механізму, трансмісії, може бути очевидний. Однак, існуючі на сьогодні деякі результати подаються українському споживачеві в узагальненому виді або у вигляді реклами, а науково обгрунтовані матеріали виробники (дистриб'ютори) не надають.

Товариство з обмеженою відповідальністю «Науково-виробнича фірма «Мегафорс» достеменно не знає механізму дії матеріалів, що нею реалізуються, тривалості корисного ефекту тощо. Надаються лише узагальнені дані. Ряд наукових результатів отримано на кафедрі експлуатації машинно-тракторного парку Дніпровського державного аграрно-економічного університету, в рамках угод про співпрацю з ТОВ «НВФ «Мегафорс».

Тому, метою нашої роботи було дослідити зміну властивостей робочої поверхні деталей тертя машин при застосуванні фулереновмісної композиції «Мегафорс» та виявити її вплив на експлуатаційні показники машинних агрегатів.

Для досягнення мети, необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз застосування фулереновмісних композицій в трибоспряженнях з використанням олив;
- розробити програму досліджень;
- провести лабораторні дослідження олив, модифікованих фулереновмісними продуктами (композиціями);
- обгрунтувати можливість застосування геомодифікаторів «Мегафорс» для підвищення ефективності машинних агрегатів.

**Об'єктом досліджень** процеси, що протікають при терті моторних олив з додаванням фулереновмісних композицій «Мегафорс».

**Предметом досліджень** закономірності зміни експлуатаційних показників машинних агрегатів.

## **2. СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИННИХ АГРЕГАТІВ ТА ПРОБЛЕМИ ЗНОШУВАННЯ ЇХ ДВИГУНІВ**

### **2.1. Проблеми технічного сервісу машинних агрегатів**

Розвиток механізації в рослинництві на всіх етапах характеризувався підвищенням якості та властивостей МА, у тому числі і техніко-експлуатаційних, пов'язаних з витратами при їх експлуатації. Але, як і раніше, сьогодні від 30 до 40 % цих витрат складають витрати на паливно-мастильні матеріали, а затрати на технічний сервіс становлять близько 40 % в залежності від марки і виробника.

Сьогодні практично всі виробники тракторів (John Deere, Case IH, Claas, Fendt, New Holland та ін.) застосовують однакову систему ТО – планово-попереджувальну. Більш того, періодичність та структура цих робіт майже од-

накова. Періодичність коливається в межах 250...300 мото-годин. А ТО після обкатки для всіх складає 100 год.

Враховуючи високу вартість зарубіжної техніки, наприклад трактор John Deere 6930D коштує 82 тис. Євро, фермери намагаються ретельно оптимізувати склад МТП, щоб уникнути простоювання техніки протягом сезону. Водночас, техніки має бути достатньо для виконання польових робіт в агростроки. У колишніх структурах план-графік включав терміни проведення ТО протягом сезону (табл. 2.1). При цьому, такий простий графік не був гнучким. Навантаження на трактор бралися із технологічних карт. Під час проведення інтенсивних весняно-польових робіт, коли необхідно виконувати одночасно різні операції під різні культури, певні конкретні трактори мали потрапляти в ТО до 4-х разів на місяць (виділено овалом в табл. 2.1). Навіть якщо трактор і дійсно знаходився в ТО, то організаційно провести його в міжзмінний час неможливо. Проводячи ТО під час виконання польових робіт (наприклад, вранці перед виїздом в поле), знижувався темп робіт. В цілому, дотриматись такого план-графіка ТО було складно, бо якщо трактор виходив з ладу, а його заміняв інший, дотримати подальший розподіл тракторів між технологічними операціями було вкрай складно.

Таблиця 2.1 – План-графік ТО тракторів на прикладі одного з господарств



## John Deere 4930/40

ТЕХОБСЛУЖИВАНИЕ **Выполнить начальную обкатку • Требуемая периодичность техобслуживания	ПЕРИОДИЧНОСТЬ					
	10 ч	Ежедневно	По потребности	50 ч	100 ч	250 ч
Подтяните крепления колес	**		**			
Подтяните ремни бака пенной маркирующей системы	**					
Проверить ремни бака с раствором	**					
Смена масла ступицы планетарной передачи				**		
Замена моторного масла и фильтра					**	
Отрегулируйте ширину колеи прокладками					**	
Проверить уровень масла в двигателе		•				
Проверьте уровень охлаждающей жидкости		•				
Слейте воду из водоотделителя топливного фильтра		•				
Проверить уровень гидравлического масла		•				
Очистите сетчатый фильтр напорной линии		•				
Очистите сетчатые фильтры секций стрел		•				
Смазать узлы подвески		•				
Промыть насос подачи раствора, расходомер и стрелу		•				
Очистить расходомер		•				
Удалить влагу из бортового воздушного баллона		•				
Проверить шины на отсутствие повреждения и надлежащее давление		•				
Проверьте пневмопружины на правильность накачки		•				
Очистите радиатор			•			
Очистите конденсатор системы кондиционирования воздуха/охладитель гидравлического масла/охладитель топлива			•			
Почистите сетчатый фильтр заливки			•			
Заменить воздушные фильтры кабины			•			
Очистите или замените воздушные фильтры двигателя			•			
Замена ремня вентилятора			•			
Замените ремень привода вспомогательных механизмов			•			
Добавьте охлаждающую жидкость и кондиционирующую присадку			•			
Смажьте наконечники рулевых тяг гидроцилиндров рулевого управления и корпуса шпинделей					•	
Подтяните крепления колес					•	
Осмотреть компоненты тормоза					•	
Переставить шины						•
Проверьте прокладки регулировки ширины колеи						•

Крім того, фермер сплачує значні кошти за проведення ТО. Наприклад, одна година у сервісному обслуговуванні техніки John Deere, що обслуговується дилером «Агротек» коштує 1200 грн. Таким чином, український користувач іноземної техніки часто залишається практично «сам на сам» із проблемою ремонту техніки: або ремонтувати її власноруч, або здійснити ремонт в центрі те-

хнічного сервісу, але за значні кошти. Одним із засобів вирішення цієї проблеми є заходи, направлені на якомога тривалішому утриманні параметрів технічного стану в оптимальних значення та в подовженні терміну служби самої техніки.

Суворе дотримання технології ТО спонукає до зростання наробітку двигуна до капітального ремонту. Навпаки, недотримання правил ТО значно скорочує термін експлуатації до капітального ремонту. Крім того, параметри технічного стану швидше виходять за номінальні межі, а отже, експлуатаційні показники й машинних агрегатів погіршуються.

## **2.2. Методи вимірювання параметрів трибоспряжень**

### *2.2.1. Шорсткість робочих поверхонь тертя*

Шорсткість робочої поверхні деталей тертя – важлива експлуатаційна характеристика. Від неї залежать такі характеристики як корозійна стійкість, зносостійкість, коефіцієнт тертя й ряд інших механічних характеристик. Існують різні способи виміру шорсткості поверхні, але перевагу віддають оптично-фізичним методам, тому що вони неконтактні, неруйнівні та піддаються автоматизації.

Серед оптико-фізичних методів можна виділити наступні: метод світлового перетину, тіньової проекції, мікроінтерференційний метод, поляризаційний, рефлектометричний метод, щуповий (контактний) метод виміру нерівностей поверхні. В останньому методі вимірювання шерохватості, де в якості щупа використовують гостро заточену голку з алмазним наконечником. При русі по вимірюваній поверхні механічні коливання голки перетворюються в електричні. Знятий з перетворювача корисний сигнал підсилюють, а потім вимірюють його параметри, які й характеризують нерівності досліджуваної поверхні (профілометрування). Отримані дані можуть також записувати параметри профілю поверхні у вертикальному й горизонтальному масштабах. Цей процес називається профілеграфування.

Основними приладами для оцінки мікронерівностей по стандарту є профілометри, профілографи й оптичні прилади (подвійний мікроскоп і мікроінтерферометр).

Профілометр - електродинамічний прилад, що визначає величину середньоквадратичного відхилення (Нск).

У нашому випадку шорсткість поверхні металевих зразків для трибологічних досліджень – дисків та колодок вимірювали за допомогою профілометра 296. Цей профілометр визначав показник  $R_a$  – середньоарифметичне відхилення профілю.

При дослідженні явища тертя між двома твердими тілами розрізняють три основні види тертя: сухе, граничне і рідинне.

Поверхня обробленої деталі відрізняється від заданого кресленням контуру (номінального) наявністю мікро й макрогеометричних відхилень  $D$  (нерівностей). Мікрогеометричні відхилення визначають шорсткість, макрогеометричні - хвилястість і відхилення форми. Їх можна класифікувати по відношенню кроку  $S$  до значення  $D$ . При  $S/D < 40$ , нерівності відносять до шорсткості, при  $1000 > S/D > 40$  - до хвилястості, при  $S/D > 1000$  - до відхилень форми. Характеристики шорсткості поверхні строго нормуються за ДСТ 2789-73 і зазнають постійного аналізу в технологічних дослідженнях і контролю в процесі виробництва.

### *2.2.2. Момент та коефіцієнт тертя*

Дослідження здійснювали на універсальній машині тертя 2070 СМТ-1 за схемою „диск - колодка” (рис. 2.1) у масляній ванні. У масляну ванну наливали оливу чисту та з додаванням модифікаторів. Кількість оливи та її композицій склада 0,5 дм<sup>3</sup>. Для виготовлення зразків (діаметром 50 і шириною робочої поверхні 11 мм) використовували сталь 45, термооброблену до твердості 48 – 50 НРС.

Режим тертя був наступним:

- тиск на зразок 5,0 МПа;
- швидкість ковзання, м/с – 0,785.

- тривалість одного експерименту – 6 год.



Рис.2.1. Зразки та їх положення під час випробувань

Кількість повторень кожного експерименту, не менше – 3. Перед вимірюваннями проводилося припрацювання пари тертя не менше 30 годин.

Процес тертя відбувався при зануренні контртіла – диска – в змащувальну композицію не менше, як на 1/3 діаметра.

Момент тертя фіксували на діаграмному папері за допомогою потенціометра КСП-2, синхронізованим з датчиками випробувальної машини тертя 2070 СМТ-1.

Мікротвердість робочої поверхні зразків визначали за допомогою приладу ПМТ-3У4,2 (рис.2.2).



Рис.2.2. Мікротвердомір  
ПМТ-3У4,2.

### *2.2.3. Температура та величина зносу*

Вимірювали температуру моторної оливи за допомогою термопари D-301. Величину зносу фіксували вимірюванням ваги зразків до та після випробувань на аналітичних терезах ВЛР-200. Точність вимірювань складала 0,002 г.

### 2.3. Огляд моторних олив

Основне призначення моторних олив нами було розглянуто вище.

Залежно від характеру відносного переміщення робочих поверхонь трибоспрямижень розрізняють два основні види тертя: ковзання і кочення. Більше енергії на пересування витрачається завжди при терті ковзання. Відповідно, в таких трибосистемах має місце більший знос, більша температура в зоні контакту. Також, найбільший знос елементів тертя відбувається в момент початку руху і для того, щоб рух почався, необхідно прикласти найбільшу силу (рис.2.3).

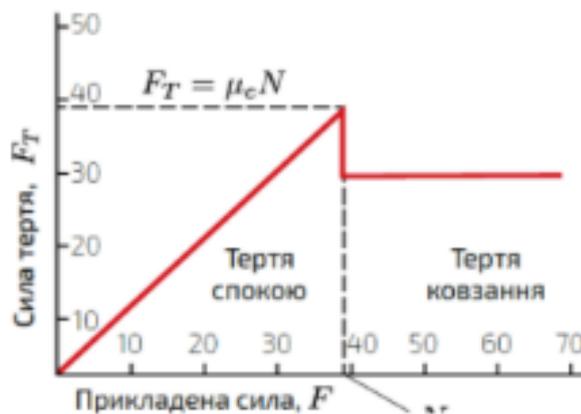


Рис.2.3. Залежність сили тертя від прикладеної сили [24].

Відповідно, виробники техніки, двигунів намагаються скоротити час на прогрів двигунів та робочих елементів. А також, існує проблема захисту деталей трибоспрямижень в момент пуску, коли олива стікає з робочих поверхонь.

Сила тертя кочення завжди менше сили тертя ковзання, тому там, де це можливо, переважно конструктори застосовують підшипники кочення. За наявності і розподілу на тертьових поверхнях змащувального матеріалу розрізняють наступні види тертя:

- так зване «сухе тертя», коли між тертьовими поверхнями відсутня змащувальна речовина;
- рідинне – коли поверхні тертя повністю розділені шаром змащувальної речовини: оливи, пластичного мастила, графітова суха субстанція;
- граничне тертя – коли поверхні тертя розділені якнайтоншим молекулярним шаром адсорбованих на них змащувальних речовин;
- напіврідинне - перехідне між рідинним і граничними видами тертя.

Сухе тертя або тертя без змащування - найнебезпечніше для вузлів і механізмів, оскільки супроводжується різким збільшенням зносу, втратою енергії на тертя, температур і т.д. Таке тертя практично не може забезпечити тривалої експлуатації трибоспряжень. Винятком може бути випадок застосування полімерно-композитних пластиків конструкційного призначення. Але такі матеріали ще не можуть працювати за умов великих динамічних навантажень (наприклад в ДВЗ, де оберти колінчастого валу складають  $2000...3000 \text{ хв}^{-1}$  та мають місце високі температури).

Тому конструктори проектують системи так, щоб забезпечити рідинне тертя. За рідинного тертя енергетичні витрати на тертя знижуються в  $10...15$  разів. При цьому мають місце мінімальний знос і нагрівання деталей, а трибосистема може витримувати значно вищі навантаження. Робота вузла тертя, а отже, машини в цілому стає тривалішою, надійнішою.

Коефіцієнт тертя при змащуванні оливами знижується до значень  $0,01...0,1$ , а мінімальна товщина масляного шару при рідинному терті для авто-тракторних двигунів дорівнює  $4...6$  мкм. Сучасні двигуни спроектовані таким чином, що вони можуть короткочасно працювати за несприятливих умов: різке зростання навантаження, значне зниження частоти обертання валу, короткочасний перегрів двигуна, надмірне пониження в'язкості оливи і ін. За наведених умов гідродинамічний шар оливи порушується – рідинне тертя переходить в граничне. Масляна плівка оливи на металевій поверхні утримується лише силами міжмолекулярної взаємодії. Вони залежать від змащувальної здатності оливи і фізико-хімічних властивостей поверхонь тертя. Товщина шару оливи в цьому випадку знаходиться в межах  $0,1...1,0$  мкм.

За походженням моторні оливи розрізняють: мінеральні (нафтові); рослинні та тваринні. Найбільшу долю у виробництві мають мінеральні оливи – до  $90\%$  від усього виробництва. Рослинні оливи отримують шляхом переробки насіння олійних та технічних культур: соняшника, ріпака, гірчиці тощо. Таким чином отримують касторову та гірчичну оливи. Тваринні оливи отримують відпо-

відно з тваринних жирів: бараняче та яловиче сало, технічний риб'ячий жир тощо.

Органічні оливи в порівнянні з нафтовими володіють більш високими змащувальними властивостями, але й нижчою термічною стійкістю.

За агрегатним станом змащувальні матеріали класифікуються:

- рідкі змащувальні оливи, які в звичайних умовах є рідинами і володіють певною текучістю. До таких відносяться нафтові та рослинні оливи;

- пластичні (консистентні) мастила. За звичайних умов знаходяться в мазутоподібному стані. До таких відносяться солідоли, технічний вазелін, консталини, різноманітні жири. Пластичні матеріали мають різні функції і поділяються на антифрикційні, консервації, ущільнюючі;

- тверді змащувальні матеріали, які не змінюють свого стану під дією температури, тиск. До них відносяться графіт, слюда, тальк. Їх зазвичай застосовують разом з рідкими або пластичними змащувальними матеріалами.

За призначенням змащувальні матеріали діляться на оливи:

- моторні – призначені для двигунів внутрішнього згорання;
- трансмісійні – застосовуються в трансмісіях тракторів, автомобілів комбайнів, самохідних і інших машин;

- гідравлічні – призначені для використання в гідросистемах різних механізмів і машин.

За робочою температурою оливи розрізняють:

- низькотемпературні – для експлуатації за температури робочого середовища не більше 60°C;

- середньотемпературні – для роботи в робочих температурах в межах 150... 200°C;

- високотемпературні – застосовуються у механізмах і агрегатах, для яких характерна робоча температура до 300°C і вище. До таких відносяться моторні оливи.

Таким чином до моторних олів пред'являються високі вимоги до стабільної в'язкості за широкого діапазона температур; високої термоокислювальної

стійкості (мала швидкість деструкції, наприклад) та ряд інших вимог. Також до моторні оливи мають ефективно відводити із зони тертя продукти зносу та температуру. Таким чином, трибоспряження мають тривалий час сталі умови роботи. Щоб задовольнити всі ці вимоги, що пред'являються до моторних олив, їх модифікують різними добавками – присадками. Присадки допомагають змінювати властивості олив в залежності від конкретних умов експлуатації.

### *2.3.1. В'язкісні властивості моторних олив*

Вязкість – найважливіша характеристика, яка вказує на придатність оливи для застосування в тому або іншому двигунах. Певна в'язкість потрібна для утворення змащувального шару між поверхнями тертя. Для ДВЗ краще використовувати оливи з більшою в'язкістю. Проте збільшення в'язкості оливи може призводити до підвищення непродуктивних втрат потужності двигуна на тертя. При цьому ККД двигуна знижується. Тому в'язкість оливи повинна бути оптимальною для забезпечення мінімального тертя, але й достатньою для створення оливної плівки між поверхнями тертя. Крім того, в'язкість визначає низькотемпературні властивості оливи, тобто здатність забезпечувати легкий пуск двигуна за низьких температурах довкілля. Це обумовлює швидку і надійну подачу оливи до корінних і шатунних вкладишів в період пуску і прогрівання двигуна в холодний період. В'язкісно-температурні властивості моторних олив визначаються таким параметром як *індекс в'язкості*. Чим вище значення цього показника – тим у меншій мірі змінюється в'язкість оливи зі зміною температури. Це характеризує якість оливи. Якісна олива – з вискоим індексом вязкості забезпечує стабільне і повне змащування поверхонь тертя за високих температур експлуатації, а за низьких низьких забезпечує легкий пуск двигуна і має хорошу прокачуваність. Тобто, в момент пуску та перші секунди роботи двигуна масляний насос швидко прокачує оливу до всіх агрегатів двигуна. Характеристика моторних олив в залежності від числа в маркуванні. Дані по в'язкості багатодіапазонного масла (наприклад, 10W-40) вказують на його поведінку при високих і низьких температурах. При цьому показник перед W (10) вказує

в'язкість за низьких температур (до 40°C), а число після W (40) вказує в'язкість за високих температур (від 100°C).

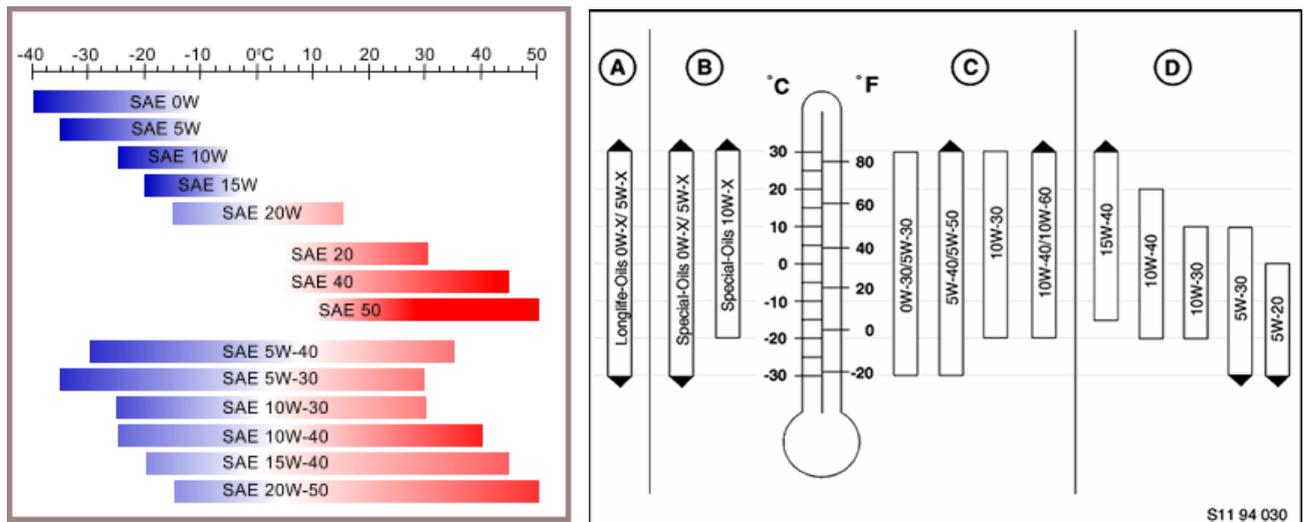


Рис.2.4. Візуалізація властостей моторних олів різних марок.

### 2.3.2. Протизносні властивості моторних олів

Для зменшення зносу деталей тертя в трибисистемах моторні оливи повинні характеризуватись протизносними властивостями. Основним параметром протизносних властивостей олів є їх в'язкість та змащуюча здатність.

Для визначення трибологічних властивостей моторних олів застосовуються різні машини тертя. Найбільш широкого поширення набула так звана чо-тирикулькова машина. При випробуванні зразка оливи в даній машині оцінюваними параметрами є: коефіцієнт тертя, знос сталевих кульок, що труться, і навантаження, при якому настає заклинювання кульок, тобто руйнується масляна плівка. Знос оцінюють за допомогою спеціального оптичного мікроскопа по середньому діаметру плями зносу на нижніх трьох кульках. Чим більше діаметр плями зносу, тим гірше його властивості проти зносу. На властивості проти зносу змащувальної оливи великий вплив мають механічні домішки, особливо абразивні. Тому при експлуатації двигунів слід виключити можливості попадання в оливу абразивних матеріалів: дорожнього пилу (може потрапляти з повітрям), при неякісному технічному обслуговуванні та за інших причин.

Ми оцінювали протизносні властивості моторних олів та їх композицій за допомогою стаціонарних машин тертя 2070 СМТ-1 та СМЦ-2.

### 2.3.3. Вплив ступеня навантаження на двигун на зміну якості моторних олив

При експлуатації МА на різних технологічних операціях, режими роботи ДВЗ змінюються в широкому діапазоні. Наприклад, при виконанні оранки оптимальне навантаження двигуна практично будь-якого трактора знаходиться в межах 70...90%, а на виконанні транспортних робіт – знижується до 30...60% від номінальної потужності. Від того, наскільки моторна олива забруднена досліджуються оптимальні строки її заміни. Логічно припустити, що накопичення механічних домішок в моторній оливі проходить тим інтенсивніше, чим вище навантаження двигуна. Відповідно, чим вище навантаження двигуна і суворіші умови експлуатації оливи, тим більш інтенсивно протікають процеси її окислення. Вміст в оливі нерозчинних продуктів, а це такі як асфальгени, карбени, карбоїди продукти зносу також збільшуються з підвищенням навантаження двигуна. Найбільше утворення і накопичення вказаних речовин відбувається при навантаженні двигуна від 80% від номінального. За таких умов експлуатації ефективність присадок також знижується. Однак, саме за критичних умов експлуатації важливо зберегти протекторні властивості моторних олив. Це є одним із недоліків сучасних моторних олив.

Залежно від рівня експлуатаційних властивостей і застосування оливи в механізмах їх ділять на наступні групи:

- А - для нефорсованих карбюраторних двигунів і дизелів;
- Б - для малофорсованих карбюраторних двигунів;
- Б<sub>2</sub> - для малофорсованих дизелів;
- В<sub>1</sub> - для середньофорсованих карбюраторних двигунів;
- В<sub>2</sub> - для середньофорсованих дизелів;
- Г<sub>г</sub> - високофорсованих карбюраторних двигунів;
- Д<sub>1</sub> - для високофорсованих дизелів без наддува або з помірним наддувом;
- Д - для високофорсованих дизелів з наддувом;
- Е - для систем змащування циліндрів дизелів, що працюють на паливі з високим вмістом сірки.

Індекс «1» відноситься до оливо, призначених для карбюраторних двигунів, індекс «2» - для дизелів. Універсальні оливи, призначені для використання як в дизелях, так і карбюраторних двигунах одного рівня форсування, індексу в позначенні не мають.

Універсальні оливи, що належать до різних груп, мають подвійне позначення, в якому перше характеризує якості оливи як дизельного, друге- як карбюраторного.

Як бачимо, питання збереження протекторних властивостей моторних оливо є відкритим. Експлуатаційні властивості МА, у випадку погіршення властивостей оливо також будуть погіршуватись: зменшиться потужність двигуна, продуктивність агрегату, натомість зросте витрата пального.

## **2.4. Характеристика силікато-фулеренових модифікаторів**

### *2.4.1. Принцип дії силікато-фулеренових модифікаторів*

Силікато-фулеренові модифікатори (СФМ) відносяться до останнього покоління ремонтно-відновлювальних сумішей (РВС). Особливою відмінністю СФМ від традиційно представлених сьогодні на ринку РВС (типу ХАДО, ПРОТЕКТОР та ін.) є те, що в його основі закладені властивості ряду інших природних матеріалів, які добувають з надр Землі. До таких відносяться мінерали шунгіт, форстеріт, фулерен, фулеренова сажа і ін. Фулерени і фулеренові сажі також отримують синтетичним способом при переробці графітів у середовищі плазми.

Принцип відновлення та зміцнення робочих поверхонь тертя деталей трибосистем полягає в тому, що в зонах тертя під впливом високих контактних температур та фізико-хімічних реакцій руйнуються списи шорсткостей, а натомість утворюються з'єднання металів на основі силікатів.

Утвореними таким чином продуктами реакцій заповнюються западини шорсткостей і дефекти поверхонь, що утворилися в процесі експлуатації трибоспряження. Випробування СФМ показали, що чистота поверхні після формування зміцненого шару на 60-80% вище, ніж до дії присадки [25, 26]. Мікротве-

рдість і зносостійкість такі ж або вищі, ніж після застосування РВС складів попереднього покоління. Очевидно, в процесі застосування СФМ структура поверхневого шару утворює умови для утримання плівки оливи на робочих поверхнях.

Однією з явних переваг шару, сформованого під дією СФМ є те, що його коефіцієнт лінійного розширення рівний коефіцієнту лінійного розширення тіла металу [27]. В цій роботі припускається, що зносостійкий шар формується на атомарному рівні і є структурою кристалічної решітки металу, що визначає високу міцність шару, у тому числі і при екстремальних термодинамічних діях.

СФМ з торговою маркою «Мегафорс» – це складна рідкокристалічна мінеральна композиція. При уведенні СФМ «Мегафорс» у моторну оливу частково відновлюється стан зношених деталей за рахунок утворення в зонах тертя металокерамічного покриття з аномально низьким коефіцієнтом тертя і високою зносостійкістю [25]. Синтез металокерамічного захисного шару відбувається за рахунок наявності в структурі СФМ особливо чистої фулеренової композиції. Дані СФМ знайшли застосування при профілактиці вузлів тертя різних машин і механізмів: редукторів, ланцюгових і гвинтових передач, роликів, підшипників кочення і ковзання, ДВЗ, насосів, компресорів та іншого устаткування.

Згідно з інформацією, наведеною на сайті виробника [28], дані СФМ при уведенні в оливи забезпечують такі ефекти:

- збільшення міжремонтного періоду в 2...2,5 разу;
- зниження рівня вібрації на 20...25%;
- зменшення шуму механізмів до 50%;
- вирівнювання геометрії валів до 0,005 мм;
- зниження норм витрати ПММ на 10...15%;
- зростання міцнісних показників поверхні тертя із збільшенням її чистоти на 2...3 класи;
- захист від пітінга і електромагнітної корозії;

Вище перелічене дозволяє значно економити поточні витрати при експлуатації промислового устаткування, а також забезпечити набагато вищі

якісні характеристики нових і таких, що були в експлуатації машин і механізмів, поліпшити роботу діючого устаткування.

СФМ вводиться між поверхнями, що труться, за допомогою носія (масла, консистентні мастила, фреон, антифризи і т.д.). Внаслідок чого в процесі експлуатації на поверхнях тертя утворюється шар металокераміки, що становить з поверхнею деталі єдине ціле.

Умовно процес обробки можна розділити на два етапи.

1) підготовчий: на початок процесу відбувається природне очищення мікрорельєфу від продуктів зносу, нагару і інших забруднювачів за рахунок окислювально-відновних властивостей.

2) основний: у подальшій експлуатації відбувається синтез металокерамічного шару на підготовлених і очищених поверхнях пар тертя. Спочатку, за рахунок утворення металокерамічного шару відбувається збільшення площі контакту особливо навантажених зон тертя, а потім, металокерамічний шар розширюється на тертьових поверхнях, залежно від величини прикладених до них контактних навантажень.

В ході формування металокерамічного шару температура в зонах тертя зменшується і зростання товщини покриття сповільнюється аж до повного його припинення. Таким чином, відбувається саморегуляція товщини захисного шару [28].

Синтезовану поверхню умовно можна розділити на три шари за глибиною (яка вимірюється в мікрометрах або навіть в нанометрах):

- перший – це відновлений шар, який складається із загальної кристалічної решітки з металевою підкладкою;
- другий, проміжний, пружний шар зі змішаною структурою;
- третій, зовнішній, захисний шар з аномально низьким коефіцієнтом тертя і високою зносостійкістю.

Отримане в результаті застосування СФМ металокерамічне покриття володіє високою мікротвердістю і пружністю. Ця поверхня має здатність до регенерації і працює в умовах тертя як захисний шар.

За рахунок оптимізації форми поверхонь тертя знижуються вібрація і шуми. Висока мікротвердість металокерамічного покриття у поєднанні з пластичністю дозволяє значно підвищити ресурс механізмів.

Тривалість формування захисного шару залежить від первинного технічного стану машин і механізмів (якості виготовлення, збірки, складу матеріалів і т.д.), а також режимів і термінів експлуатації.

#### *2.4.2. Аналіз переваг та недоліків застосування СФМ у порівнянні з іншими модифікаторами*

До переваг СФМ слід віднести:

- їх роботоздатність за високих температур. Таким чином, вони придатні для використання в моторних оливах;

- зменшення шорсткості робочих поверхонь з одночасним підвищенням міцності. Так забезпечується підвищення зносостійкості деталей трибоспряжень;

- передбачене теоретично тришарове покриття забезпечує більш довший ефект, а верхній – робочий шар – носить ознаки самоорганізації (що притаманно фулеренам);

- після закінчення формування зовнішнього шару припиняються процеси електрохімічної корозії. Зовнішній шар володіє високою електрохімічною міцністю, будучи ідеальним ізолятором – атоми гідрогену не потрапляють у підповерхневий металевий шар;

- змішується з будь-якою сертифікованою оливою;

- зростання компресії та вирівнювання її по циліндрах до однакових значень в межах похибки.

До недоліків СФМ можна віднести:

- науково не визначений термін дії модифікатора;

- відсутність реакції виробників техніки. Від цього виникає питання дотримання регламенту ТО: необхідно його змінювати споживачеві чи ні;

- відносна дороговизна композиції.

**Висновки по розділу.** З матеріалу, викладеного у розділі 2, можна зробити наступні висновки.

1. Виконання технічного обслуговування та сервісного супроводу імпортової техніки (John Deere, Case IH, FENDT, New Holland та ін.) сьогодні здійснюється силами дилерських сервісних центрів і є досить затратними для кінцевого споживача.

2. Сучасні моторні оливи забезпечують максимально можливий термін служби, передбачений інструкцією і не утворюють на поверхнях деталей корисні відкладення у вигляді нашарувань, плівок тощо. Це один із важелів підвищення експлуатаційних властивостей машинних агрегатів.

3. Проблеми тертя в двигунах вирішують традиційними способами: зменшення шорсткості поверхні деталей; суворе дотримання геометричних параметрів деталей (овальність, конусність тощо), застосуванням відповідних, суворо регламентованих моторних олів.

4. Сучасні дизелі не здатні навіть короткий час працювати в умовах «маляного голодування». При відмові системи мащення відбувається миттєва зупинка двигуна, часто в результаті заклинювання двигуна. Дана проблема не вирішена.

5. Проаналізовано, що застосування силікато-фулеренових геомодифікаторів в ДВЗ може підвищити експлуатаційні показники машинних агрегатів

6. В міжіакультетській проблемній науково-дослідній лабораторії технічного сервісу машин є наукове обладнання для проведення досліджень і визначення рівня ефективності від застосування олів, модифікованих фулереновмісними продуктами, типу Мегафорс.

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Програма досліджень

Для визначення трибологічних властивостей оливо та вплив на них модифікаторів, що мають у своєму складі фулерени розробили вісім різних композицій: одну контрольну та сім з додаванням геомодифікаторів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – зразки оливо та композицій, що випробовувалися.

№ зразка	1	2	3	4	5	6	7	8
Формула	10W30S R	5W30S R	10W40	5W40S R	10W40S R	10W40 + 3% R	10W40 + 3%M	10W40 + 3%R + 3%M
Складові модифікатора	Силікат + фулерен	Силікат + фулерен	-	Силікат + фулерен	Силікат + фулерен	фулерен	графен	Фулерен + Графен

На обладнанні міжфакультетської науково-дослідної лабораторії технічного сервісу машин ДДАЕУ визначали такі параметри:

- момент тертя;
- температуру з зоні контакту;
- інтенсивність зносу;
- мікротвердість робочих поверхонь металевих контртіл;

В подальшому, отримані результати проектували на експлуатаційні показники машинних агрегатів. Найвищі трибологічні показники певної композиції можуть бути такими, щоб рекомендувати їх для застосування в моторних оливах.

### 3.2. Результати лабораторних досліджень

Результати досліджень величини моменту тертя  $M_{тр}$  свідчать про позитивну дію всіх модифікаторів, крім № 8 (рис. 3.1).

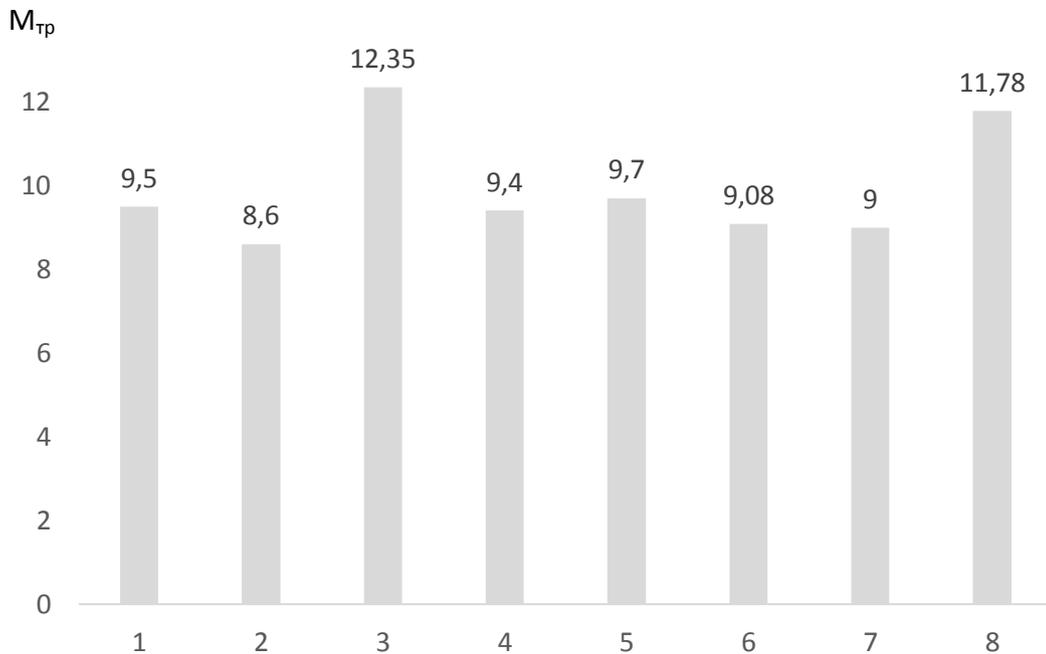


Рис.3.1. Значення моменту тертя ( $M_{тр}$ ) у парі тертя «сталь-сталь» при фрикційній взаємодії у мастилі: 1 - 10W30SR; 2 - 5W30SR; 3 - 10W40 База;  
4 - 5W40SR; 5 - 10W40SR; 6 - База + 3%M; 7 - База + 3%R;  
8 - База + 3%R + 3%M.

З гістограми на рис. 3.1. бачимо, що найвищий момент тертя мають моторна олива без додавання модифікаторів (№ 3 – контроль) та № 8. Поєднання таких складових як графен + фулерен у комплексі не дали бажаного результату. Хоч різниця у величині цього параметру й склала 5 %, у порівнянні з іншими композиціями різниця суттєва. Найменший показник  $M_{тр}$  мала композиція № 2, застосування якої забезпечило зменшення моменту тертя на 30,35 %. Тобто такого ефекту можна досягти, якщо у оливу 5W30 додати по 1,5 % силікату й фулерену.

Не дивлячись на те, що момент тертя при випробуванні композицій 3 і 8 був вищим у порівнянні з іншими в межах 30...37%, температурні режими були

практично однаковими для всіх зразків і знаходилися в межах 84...92 °С (рис.3.2). Абсолютні значення температури вказують на сталий режим тертя трибоспряжень. Стабілізація температури для всіх композицій відбувалася в межах 45...50 хв з моменту пуску (рис.3.3). Відхилення між мінімальним і максимальним значенням температур для всіх композицій склало 9,5 %, що знаходиться в межах похибки вимірювань для даного діапазону.

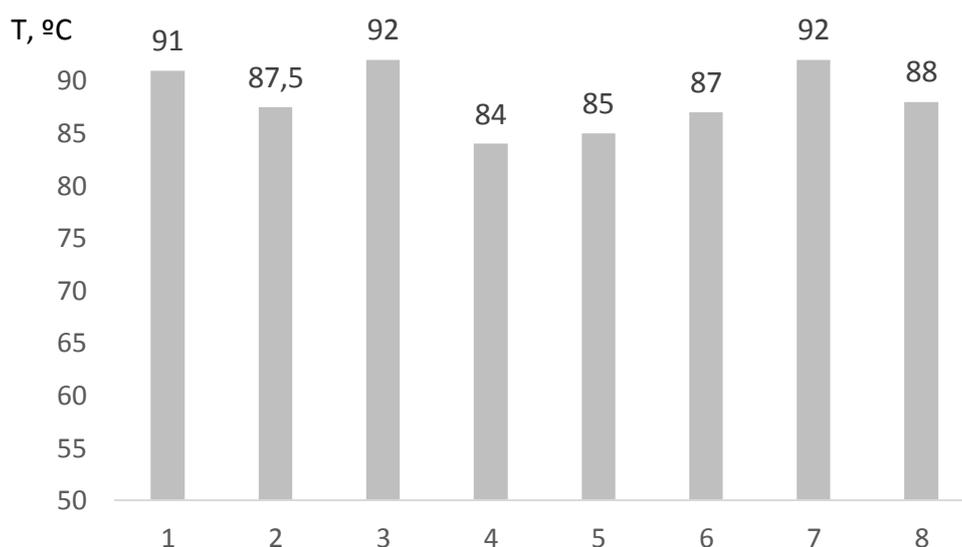


Рис.3.2. Значення температури (Т) на поверхні тертя у парі тертя «сталь-сталь» при фрикційній взаємодії в моторній оливі та її модифікаціях.

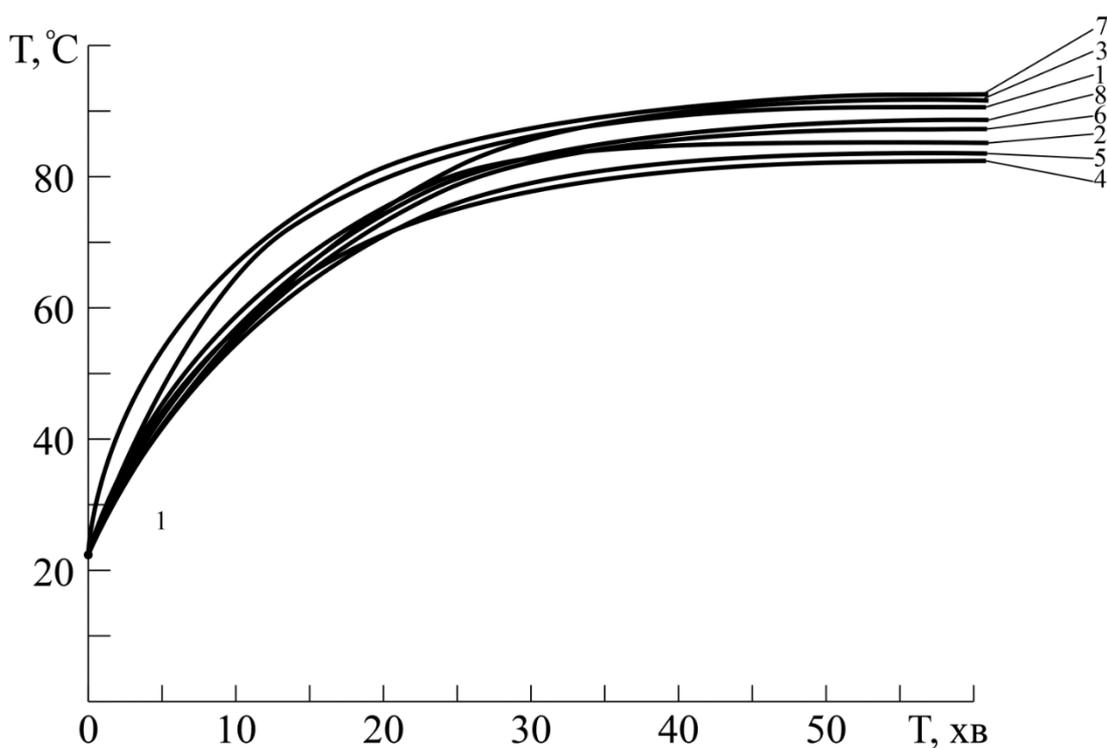


Рис. 3.3. Залежність температури (Т) оливи у парі тертя «сталь-сталь»

від часу при фрикційній взаємодії.

Як видно з рис.3.3 сімейство кривих має однакову закономірність і незначні відхилення між собою.

Величину вагового зносу фіксували на аналітичних терезах ВЛР-200 шляхом зважування колодки (рис.3.4) до та після експерименту.

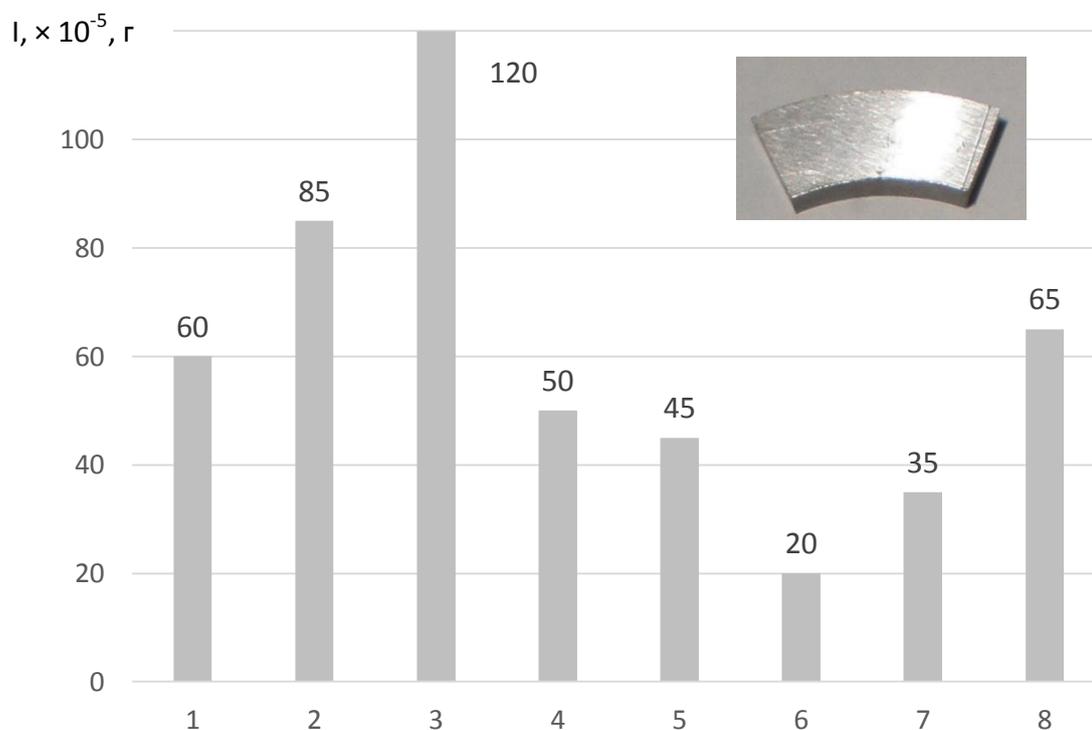


Рис. 3.4. Залежність вагового зносу (I) у парі тертя «сталь-сталь» від складу модифікованої оливи: 1 - 10W30SM; 2 - 5W30SM; 3 - 10W40 База; 4 - 5W40SM; 5 - 10W40SM; 6 - База + 3%R; 7 - База + 3%M; 8 - База + 3%R + 3%M.

Як видно з рис.3.4, максимальне значення вагового зносу «колодки» має зразок, що випробовувався в композиції № 3 – чистій оливі. Найменший – у композиції № 6. Також малі значення вагового зносу мають зразки, що випробовувалися в композиціях № 4; № 5 і № 7.

Порівняння гістограм вагового зношування (рис. 3.4) і параметру шорсткості (рис.3.5) поверхонь тертя показують, що ці графіки корелюють між собою. Це може свідчити про те, що в процесі тертя активно беруть участь на шарування складових, що входять до складу композицій. Очевидно, що вони

нашаровуються в процесі тертя, а потім нерівномірно «зносяться» з робочої поверхні, утворюючи таким чином, борозни. Це сприяє зміні параметру шорсткості, симбатно ваговому зносу та моменту тертя.

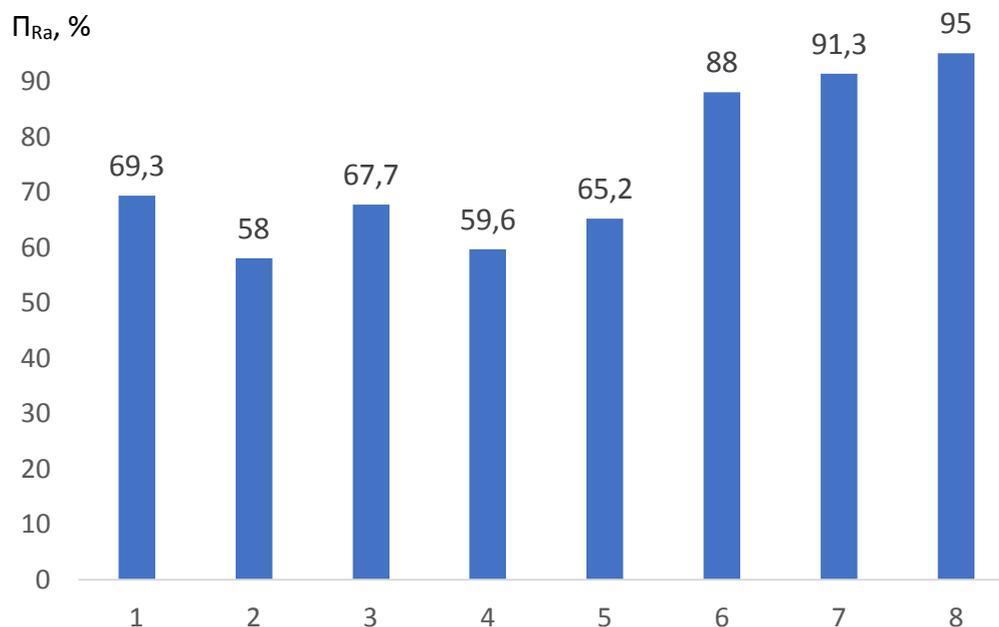


Рис. 3.5. Значення параметру шорсткості  $P$  у парі тертя «сталь-сталь» при фрикційній взаємодії у оливі та змащувальних композиціях.

Мікротвердість досліджених поверхонь (HV) корелює із значеннями вагового зношування у парі тертя «сталь-сталь» при фрикційній взаємодії у досліджуваних композиціях (рис. 3.6).

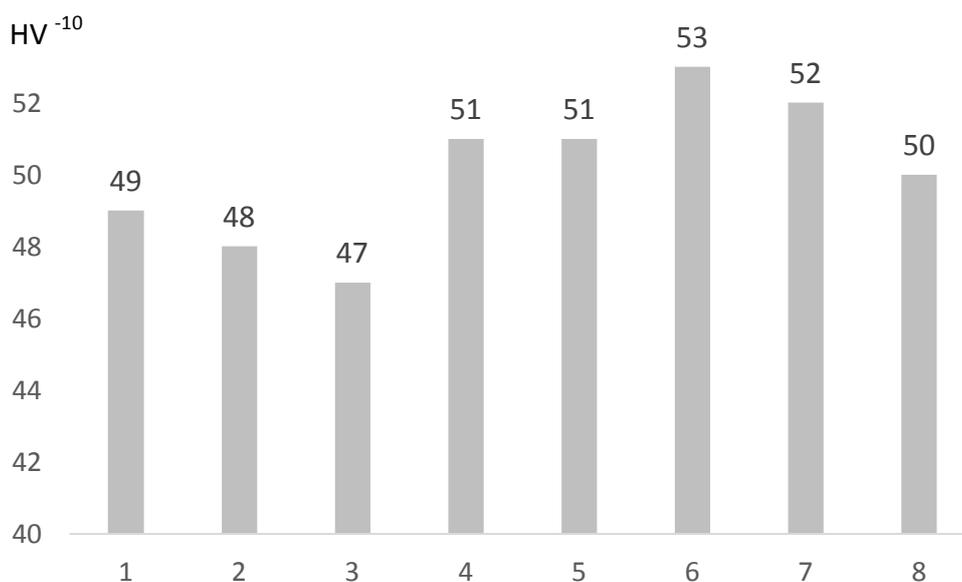


Рис. 3.6. Значення мікротвердості (HV) поверхні тертя «сталь-сталь» при фрикційній взаємодії в оливі.

Найменше значення мікротвердості зафіксовано саме при терті зразка в чистій, немодифікованій оливі, а найбільше – у композиціях 6 і 7. Фото відбитків алмазної пірамідки під час вимірювання мікротвердості показують, що відбитки на зразках, що випробовувалися в середовищі чистої моторної оливи мають чіткі контури (рис. 3.7, б). А от відбитки, отримані з поверхні, що випробовувалася в середовищі силікато-фулеренової композиції мають нечіткі межі, на фото видно, що відбитки неначе «втягнуті» в глибину западини (рис. 3.7, а).

Таке явище може бути притаманним, коли руйнується плівка, утворена на

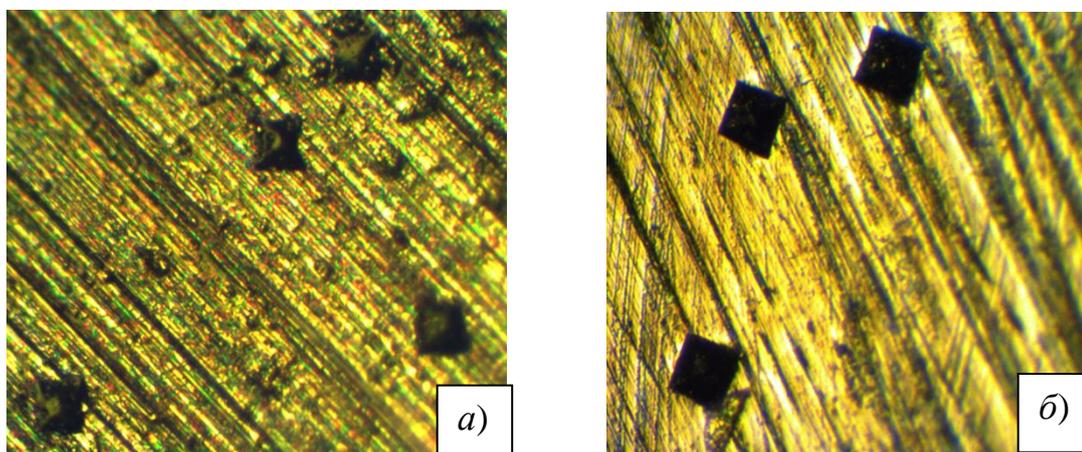


Рис.3.7. Відбитки алмазної пірамідки на поверхні тертя металевих контртіл ( $\times 450$ ): а – композиція № 6; б – чиста олива № 3.

металевій поверхні. При чому, ця плівка має певну пружність – здатність до мінімального розтягу. Очевидно, значення мікротвердості зразка № 6 показують, що її збільшення є наслідком створення покриття на поверхні тертя, яке є більш твердим ніж вихідна сталева поверхня.

Для подальших виробничих випробувань використовували в якості контролю чисту оливу, а в якості оптимізаційної – композицію № 6, до складу якої входить 3% фулеренової добавки.

### 3.3. Результати виробничих випробувань

Для проведення натурних випробувань використовували трактор ЮМЗ-8070, який працював на виконанні різних технологічних операцій протягом 17 квітня – 11 листопада 2021 року.

Перед випробуванням виміряли за допомогою компресиметра для дизельних двигунів Profline 31020 зі спеціальним фіксатором виміряли тиск в циліндрах двигуна (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Результати вимірювання тиску у надпоршневому просторі двигуна, МПа

Порядковий номер циліндру						Середня компресія
1	2	3	4	5	6	
2,30	2,30	2,28	2,30	2,32	2,31	2,30

Таким чином, середнє значення тиску у надпоршневому просторі циліндрів визначали за формулою:

$$P_{cp} = \frac{\sum_{ij}^n P_{ij}}{n},$$

де  $P_{ij}$  - компресія, визначена при  $i$ -й повторності в  $j$ -му циліндрі, МПа;

$n$  – кількість циліндрів.

Середня компресія в кожному циліндрі наведена в табл 3.2.

Тоді:

$$P_{cp} = \frac{2,30 + 2,30 + 2,28 + 2,30 + 2,32 + 2,31}{6} = 2,30 \text{ МПа}$$

Композиція № 6 додавалася в моторну оливу під час чергового ТО при якому була проведена заміна оливи, фільтрів і проведений увесь комплекс регламентних робіт у відповідності з системою ТО тракторів ЮМЗ-8070.

Згідно з графіком виконання робіт, трактор агрегувався з різними с.-г. машинами і виконував операції, наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Склад машинних агрегатів на базі трактора ЮМЗ-8070 та обсяг робіт на випробуваннях

Технологічна операція	Агрегування	Обсяг робіт, га	Наробіток, мото-год.
Боронування ранньовесняне	8БЗСС-1,0	18,9	9,8
Передпосівна культивація	КН-3,8	18,9	17,6
Сівба	СУПН-8А	18,9	9,9
Міжрядний обробіток соняшника	КРН-5,6	18,9	9,4
Дискування стерні попередника	СТЕП-2,4	27,27	22,3
Оранка	ПЛН-3-35	18,9	24,6
Всього		121,77	93,6

Після заміни модифікованої фулереновмісними продуктами моторної оливи через виконаного обсягу робіт провели через 10 мото-год. провели друге вимірювання компресії в циліндрах двигуна і отримали такі показники (табл 3.4).

Таблиця 3.4 - Результати вимірювання тиску у надпоршневому просторі двигуна через 10 мото-год. після обробки СФМ, МПа

Напрацьовано після заміни оливи, мото-год.	Порядковий номер циліндру				Середня компресія, МПа	Зміна показника, %
	1	2	3	4		
0	2,30	2,30	2,28	2,30	2,295	0
10	2,33	2,33	2,31	2,34	2,328	101,4
30	2,35	2,35	2,32	2,35	2,343	102,1

93,6	2,35	2,35	2,34	2,35	2,348	102,3
------	------	------	------	------	-------	-------

Як видно з даних, наведених в табл.3.4. у всіх циліндрах відбулося зростання тиску в надпоршневому просторі. Зазначимо про вирівнювання компресії у всіх циліндрах. Так, найнижче значення було зафіксовано в третьому циліндрі. Різниця складала 0,02 МПа на початку експерименту, а за останнього вимірювання склала 0,01 МПа.

Графічно результати зміни компресії показують на симетричне її зростання (рис.3.8) як в цілому, так і в розрізі зміни по кожному циліндрі.

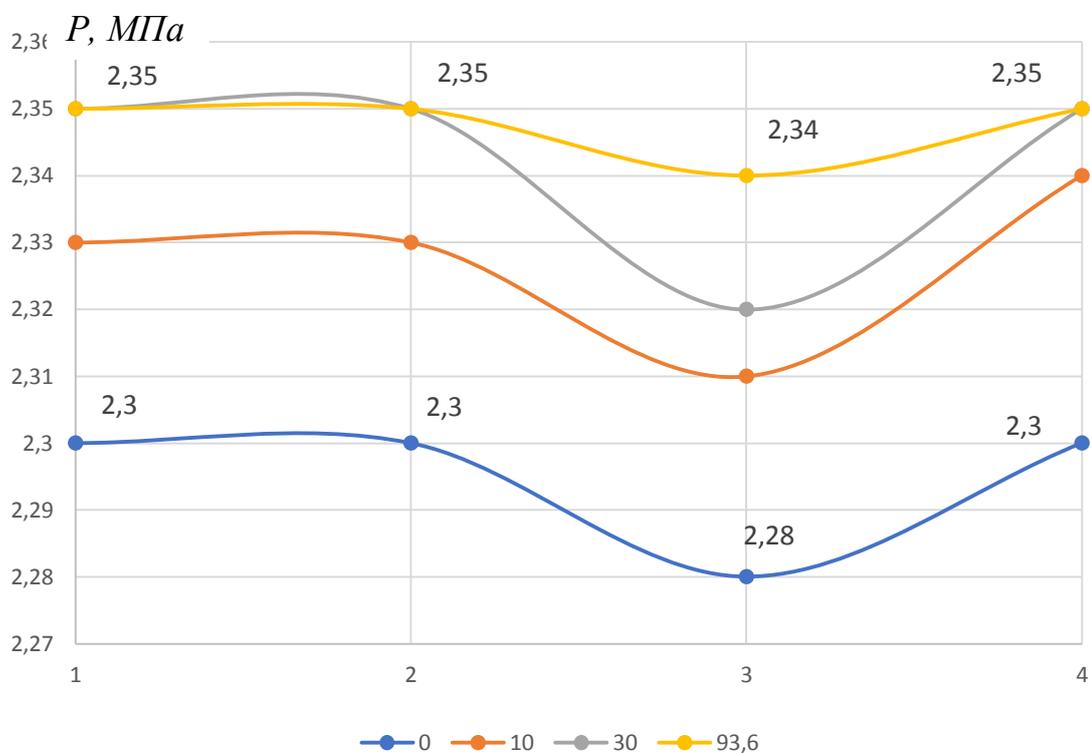


Рис. 3.8. Зміна компресії P в циліндрах двигуна в залежності від наробітку.

Однак, компресія зросла у всіх циліндрах і відбулося її вирівнювання.

Таким чином, можна говорити про ефективність застосування моторних олів, модифікованих фулереновмісними продуктами.

**Висновки по розділу.** Лабораторними дослідженнями встановлено, що найменший показник моменту тертя  $M_{тр}$  мала композиція № 2, застосування

якої забезпечило зменшення моменту тертя на 30,35 %. Тобто такого ефекту можна досягти, якщо у оливу 5W30 додати по 1,5 % силікату й фулерену.

Максимальне значення вагового зносу «колодки» має зразок, що випробовувався в композиції № 3 – чистій оливі. Найменший – у композиції № 6. Також малі значення вагового зносу мають зразки, що випробовувалися в композиціях № 4; № 5 і № 7.

Найменше значення мікротвердості зафіксовано саме при терті зразка в чистій, немодифікованій оливі, а найбільше – у композиціях 6 і 7.

Показано, що застосування композиції № 6 в якості модифікатора до моторної оливи сприяє підвищенню компресії в циліндрах двигуна Д-65НТ-1 на 2,3 %. Це дозволить збільшити ресурс двигуна, а також підвищити потужність трактора і підвищити швидкість агрегату у межах технологічно допустимих значень.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Значення охорони праці**

Охорона праці на дослідницьких ділянках (лабораторіях) полягає в організації безпечних умов роботи; ефективності досліджень шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці. Безпеки дослідного виробництва повинна бути мінімальною. У зв'язку з вищезначеним важливість охорони праці виявляється, перш за все, у впливі на зміну таких основних показників, що характеризують рівень розвитку науково-дослідного виробництва.

1. Продуктивність праці стабільно зростає за рахунок скорочення простоїв (холостих переїздів, зменшення періодичності ТО). Як результат – фонд робочого часу теж зростає. Таким чином майже відсутні випадки передчасного стомлення, а також знижується кількість мікротравм, обумовлених несприятливими умовами праці. Передчасне стомлення може бути попереджене за допомогою раціоналізації умов праці, введення оптимальних режимів праці та інших заходів на підприємствах. Це сприятиме збільшенню ефективного використання робочого часу. Цей же результат дає ліквідація мікротравм, оскільки кожна супроводжується втратою до 2 годин робочого часу; скорочення цілоденних втрат робочого часу в результаті зниження рівня або ліквідації тимчасової непрацездатності через виробничий травматизм, професійну і загальну захворюваність. Цей показник має важливе значення для виробництв, на яких кожна травма в даний час супроводжується втратою працездатності в середньому на 26 днів.

2. Збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності тих, що працюють за рахунок: поліпшення стану здоров'я тих, що працюють, і збільшення середньої тривалості їх життя шляхом поліпшення умов праці, що також супроводжується збільшенням виробничого стажу тих, що працюють з високою трудовою активністю:

- підвищення професійного рівня унаслідок зростання кваліфікації і майстерності у зв'язку із збільшенням виробничого стажу;  
- можливості використання залишкової трудової активності, великого практичного досвіду і професійних знань пенсіонерів і інвалідів на доступних для них роботах і забезпечення, відповідно до їх фізичних можливостей, умов праці.

3. Збільшення сукупного національного продукту за рахунок поліпшення вказаних вище показників і складових їх компонентів.

4. Забезпечення сталого збільшення фонду робочого часу. Одержується за рахунок скорочення втрат робочого часу через неояву на роботі в результаті виробничої травми або захворювання. Умови праці істотно впливають не тільки на професійну захворюваність, але й на виникнення і тривалість загальних захворювань. Сьогодні 25-30% загальних захворювань на виробництві пов'язано з несприятливими умовами праці і це є проблема. Так, загальновідомо, що перевищення допустимої температури повітря в робочій зоні виробничих приміщень на 10°C супроводжується збільшенням витрат робочого часу через серцево-судинні захворювання в середньому на 4,1 дні з розрахунку на 100 робочих дні. А у разі перевищення допустимого рівня шуму на 10-20 дБА збільшується тривалість тимчасової непрацездатності в середньому на 2,7 дня у розрахунку на 100 робочих.

5. Економія витрат на пільги і компенсації за працю за несприятливих умов. Коли створюються умови праці з високим рівнем дотримання вимог з охорони праці, пільги і компенсації частково можна відмінити. Це забезпечує значну економію витрат на компенсації і пільги. Адже пільги у вигляді скороченого робочого дня або додаткові дні відпустки, пов'язані із виплатами великих грошових сум, але ж фактично робочий час не є відпрацьований. Таке і пільги, як підвищені тарифні ставки, пільгові пенсії, лікувально-профілактичне харчування та ін., також супроводжуються витрачанням значних грошових коштів.

6. Зниження витрат через плинність кадрів за умовами праці. Із загальної кількості тих, що звільнилися за власним бажанням, близько 21% складають

особи, не задоволені умовами праці (важка фізична праця, несприятливі санітарно-гігієнічні умови, монотонність роботи, погіршення здоров'я і т.п.).

#### **4.2. Охорона праці при проведенні наукових досліджень**

Охорона праці під час проведення наукових досліджень має особливо важливе значення, так як людина (дослідник) працює з експериментальним обладнанням, в нових режимах, за нових, штучно створених відповідно до експерименту, умов. Лабораторні дослідження повинні проводитися в сухому, добре вентильованому та освітленому приміщенні, що має засоби індивідуального захисту, вогнегасники, заземлення, аптечки. Вказаним критеріям відповідає лабораторія № 130, що відноситься до міжфакультетської проблемної науково-дослідної лабораторії технічного сервісу машин ДДАЕУ.

При проведенні лабораторних досліджень використовувалося електро- та механічне обладнання: машина для дослідження тертя та зносу СМЦ-2; потенціометри КСП-2 та КСП-4; мікротвердомір ПМТ-3У4,2; аналітичні терези ВЛР-200, персональний комп'ютер, інше обладнання. Так як основну частину досліджень було виконано автором дипломної роботи, який є здобувачем вищої освіти, то постановка експериментів завжди виконувалася у присутності наукового керівника або асистентів кафедри ЕМТП (з метою підвищення рівня безпеки при виконанні робіт).

#### **4.3. Безпека праці при роботі з присадками для оливо**

Аналіз деяких джерел показав [14], що вплив наночасток, які мають місце у геомодифікаторі «Мегафорс», на організм людини сьогодні ще зовсім не вивчений. Незважаючи на те, що наночастки вже широко застосовуються, прикладом яких є геомодифікатора «Мегафорс», а викиди продуктів переробки палива містять значну кількість частинок нанорозміри, ми як і раніше, мало знаємо про наслідки їх впливу на здоров'я. У міру того, як використання наночастинок в споживчих товарах зростає, відстеження результатів, тестування і законодавст-

во відстають все більше і більше. Директивний документ з хімії REACH, виданий Європейським Союзом, навіть не згадує наноматеріали. Генеральний директор Інституту Безпеки Праці та Охорони Здоров'я Європейського Союзу Харрі Вайна (Harri Vainio) тим не менше висловив свої серйозні побоювання в тому, що наночастинки можуть стати азбестом 21 століття і, відповідно, серйозною загрозою здоров'ю людини.

Дослідницькі групи у Фінляндії (Технологічний Університет Тампере і Технологічний Університет Гельсінкі) та США (Університет Клемсона) провели великі дослідження взаємодії вуглецевих наночасток з живою клітиною. Результати цих досліджень дають повні підстави для серйозного занепокоєння.

Результати дослідження показують, що деякі культури клітин, будучи піддані впливу фулеренів (тобто, наночасткам вуглецю, які мають різну об'ємну структуру, наприклад, сферичну, циліндричну або еліпсоїдні), виявляються не ушкодженими і навіть ніяк не порушеними. Клітини також виявляються не порушеними у присутності наночастинок галової кислоти, яка є практично у всіх рослинах (наприклад, чаї, дубовій корі, дубильних екстрактах і т.д.). Проте, коли фулерени і галова кислота присутні в клітинній культурі спільно, вони формують з'єднання, які пристають до поверхні клітини і викликають її загибель.

*Загибель клітини.* Результати досліджень були опубліковані в 2000-х роках [(E. Salonen, S. Lin, ML Reid, M. Allegood, X. Wang, AM Rao, I. Vattulainen, P.-C. Ke. Real-time translocation of fullerene reveals cell contraction. Small 4, 1986 & ndash; 1992 (2008)].

Вперше проведено порівняльне дослідження біохімічних ефектів немодифікованих фулеренів  $C_{60}$  та  $C_{60}$ -вмісних композитів на основі амінопропілаєросилу у тимоцитах та у трансформованих клітинах (асцитна карцинома Ерліха та лейкоз L1210) [16]. Виявлено, що фулерени  $C_{60}$  ( $10^{-5}$  M) як у вільному стані, так і у складі композитів не впливають на кількість життєздатних клітин обох типів, на стійкість еритроцитів до гемолізу та на накопичення ТБК-активних продуктів у гомогенатах тканин, тобто не виявляють негативних біологічних ефектів. Показано, що у клітинних суспензіях після опромінення у діапазоні =

320 - 580 нм за присутності фулеренів  $C_{60}$  посилюється продукція активних форм кисню. Найбільш ефективними продуцентами є фулерени  $C_{60}$  у складі антраценоальвмісного композиту.

Дослідження та їх результати показують, як важко виділити ефекти впливу наночастинок на організм. Навіть якщо якась конкретна з наночастинок і не є токсичною сама по собі, то взаємодії між нею та іншими частками чи речовинами в організмі людини можуть викликати серйозні проблеми функціонування клітин. Кількість можливих комбінацій наночастинок і різних біомолекул, природно, має безліч. Таким чином, систематизувати ці дослідження на сучасному етапі досліджень представляється практично неможливим і прогноз захворювань при використанні фулереновмісних композитів на сьогоднішній день не вивчався.

#### **4.4. Розробка карти безпеки праці при проведенні лабораторних трибологічних досліджень з використанням геомодифікатора «Мегафорс»**

Перед проведенням експериментів у лабораторії № 130, розробили карту безпеки.

##### Загальні вимоги перед початком роботи.

1. Перевірити чистоту робочого місця і, за наявності неполадок в роботі машини СМЦ-2, ознайомитися з ними і з прийняти заходами по їх усуненню.
2. Привести в порядок робочий одяг. Застібнути рукава, прибрати волосся під головний убір.
3. Перевірити стан підставки під ногами, її стійкість на підлозі.
4. Перевірити стан ручного інструменту: гайкові ключі повинні бути справними, і при закріпленні болтів (гайок) розмір їх повинен відповідати розміру головки болта (гайки); не допускається застосування прокладок і їх подовження за допомогою труб. Забороняється складати інструмент на машину тертя.

5. Привести в порядок робоче місце: прибрати речі, що не будуть використовуватися під час експерименту, підготувати і обережно розкласти необхідні інструменти і пристосування так, щоб було зручно і безпечно користуватися ними (те, що треба брати лівою рукою, повинне знаходитися зліва, а те, що правою, - справа); укласти зразки в призначену для них тару, а саму тару розмістити так, щоб було зручно брати зразки .

6. Перевірити стан машини: переконатися в надійності кріплення стаціонарних огорож, в справності електропроводки, заземлюючих (занулюючих) проводів, рукояток і маховичків управління стендом. Розмістити електричні дроти і інші комунікації, так, щоб була виключена можливість їх зіткнення з рухомими частинами верстата або зразками.

7. Підключити стенд до електромережі, включити місцеве освітлення і відрегулювати положення світильника так, щоб робоча зона була добре освітлена і світло не сліпило очі.

8. На холостому ході перевірити справність кнопок "Пуск" і "Стоп", дію і фіксацію важелів і ручок включення режимів роботи стенда, системи примусового змащування, а також системи охолодження. Далі провести або перевірити наладку стенда відповідно до технологічної документації.

9. Підготувати засоби індивідуального захисту і перевірити їх справність. Для попередження шкірних захворювань при необхідності скористатися засобами дерматологічного захисту.

10. Про всі виявлені недоліки, не приступаючи до роботи, повідомити керівника.

#### Загальні вимоги під час роботи.

11. Маса і габаритні розміри зразків повинні відповідати паспортним даним стенду: діаметр контртіла 50 мм, площа контакту, що забезпечується колодкою – не менше 2 см<sup>2</sup> в проекції.

12. За необхідності користуватися засобами індивідуального захисту. Забороняється працювати в рукавицях і рукавичках, а також із забинтованими

пальцями без гумових напальчників, на стендах з досліджувальними зразками, що обертаються, або інструментами.

13. Перед кожним включенням випробувальної машини переконатися, що пуск безпечний; постійно стежити за надійністю кріплення верстатного пристосування, досліджувального зразка.

14. При роботі стенду не перемикати рукоятку режимів роботи, вимірювань, регулювання і чищення. Не відволікатися від спостереження за ходом випробувань самому і не відволікати інших.

15. Правильно укладати досліджувальні зразки, не захарашувати підходи до стенда, систематично прибирати сміття і стежити за тим, щоб підлога не була забруднена маслом, звертаючи особливу увагу на недопустимість попадання їх на ґрати під ноги.

16. Обов'язково вимикати стенд при відході навіть на короткий час, при перервах в подачі електроенергії, при проведенні вимірювань досліджувального зразка, а також при регулюванні, прибиранні і змащуванні стенду.

17. При появі запаху горілої електроізоляції, або відчуття дії електричного струму при зіткненні з металевими частинами машини негайно її зупинити і викликати майстра. Не відкривати дверець електрошкафів і не проводити яке-небудь регулювання електроапаратури.

#### Загальні вимоги після закінчення роботи.

18. Вимкнути стенд і привести в порядок робоче місце. Розкласти допоміжний і вимірювальний інструмент по місцях зберігання, заздалегідь прочистивши його.

19. Сміття змести в піддон або на совок щіткою; труднодоступні місця очистити кистю або дерев'яною загостреною паличкою, обернутою ганчіркою. Щоб уникнути нещасного випадку і попадання сміття (пилу) в механізми забороняється для чищення стенду використовувати стисле повітря.

20. Перевірити якість прибирання стенду, вимкнути місцеве освітлення і відключити стенд від електромережі.

21. Про всі неполадки в роботі стенду, якщо вони мали місце впродовж зміни, повідомити керівника або майстра.

22. Здійснити санітарно-гігієнічні заходи.

Окрім вказаного, кожен здобувач вищої освіти зобов'язаний:

- працювати тільки на тому стенді, до експлуатації якого він допущений, і виконувати ту роботу, яка доручена йому керівником лабораторії;
- без дозволу майстра (керівника) не допускати до роботи на верстаті інших осіб;
- відмітивши порушення правил з охорони праці з боку інших студентів, попередити їх і зажадати дотримання вимог безпеки;
- в обов'язковому порядку вимагати від керівника лабораторії проведення позапланового інструктажу при перекладі на експлуатацію стенду іншої моделі або при залученні до разових робіт, що не входять в круг обов'язків студента;
- про всякий нещасний випадок або навіть незначне травмування негайно ставити в відомість керівника і звернутись в медичний пункт університету;
- уміти надавати першу допомогу постраждалому, застосовувати первинні засоби пожежогасіння і проводити роботи по усуненню наслідків аварійних ситуацій або пожежі.

**Висновки по розділу.** Проаналізовано та встановлено, що наукова лабораторія № 130 ДДАЕУ відповідає основним вимогам охорони праці і безпеки праці для виконання науково-дослідних робіт.

Сучасний стан наукових досліджень не виявив систематичного позитив-негативного впливу фулереновмісних композитів на клітини та організм людини в цілому.

Розроблена карта безпеки праці при виконанні науково-дослідних робіт на випробувальній машині СМЦ-2, що розташована в лабораторії № 130 дозволить звести до мінімуму виникнення небезпечних ситуацій та оперативно прийняти заходи по їх ліквідації, якщо такі все ж сталися.

## 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Розроблена в роботі технологія підвищення експлуатаційних показників МТА шляхом застосування модифікованих фулереновмісними продуктами моторних олів забезпечить певне зростання таких показників, як потужність трактора, продуктивність МА, періодичність ТО; зменшення витрати пального.

Для точного розрахунку економічної ефективності роботи, для прикладу візьмемо експлуатацію агрегату у складі ЮМЗ-8070+СТЕП-2,4 на виконанні дискування на площі 100 га. За отриманими експлуатаційними показниками протягом випробувань, обгрунтуємо вихідні дані, і зведемо їх в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Експлуатаційні показники на дискуванні агрегатом  
ЮМЗ-8070 + СТЕП-2,4

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Вид роботи, що виконується	Дискування стерні	
Обсяг роботи, га	136,4	
Продуктивність агрегату за годину, га/год	0,73	0,79
Балансова вартість агрегату, грн.	568 000	572 300
Тривалість зміни, год.	7	7
Витрати палива, кг/га	9,8	9,6
Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	1	1
Годинна тарифна ставка, грн.*	62,58	62,58
Норма відрахувань на амортизацію, %*	12	12
Норма відрахувань на КР, ПР і ТО, %*		
трактора	10	10
сільгоспмашини	3	3
Комплексна ціна 1кг пального, грн.	9,80	9,80
Річне завантаження, га.*	100	100
Вартість палива, грн.	31,5	
Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, E	0,15	0,15

Для проведення економічної оцінки впровадження результатів роботи необхідно визначити такі показники:

1. Змінна продуктивність агрегату ( $W_{зм}$ ), га/зм;

$$W_{зм} = W_{год} \cdot 7 \text{ год.}$$

Для агрегату, що експлуатується за стандартною схемою:

$$W_{зм1} = 0,73 \cdot 7 = 5,11 \text{ га/зм.}$$

Через збільшення потужності трактора на 2 %, робоча швидкість агрегату також зросте і збільшиться годинна і змінна продуктивність агрегату:

$$W_{зм2} = 0,79 \cdot 7 = 5,53 \text{ га/зм.}$$

2. Витрати робочого часу на одиницю роботи агрегату ( $Z_{рч}$ ), люд.-год. /га:

$$Z_{рч} = K_{пр} \cdot T_{зм} / W_{зм}$$

де  $K_{пр}$  – кількість обслуговуючого персоналу, одна особа.

$$Z_{рч1} = K_{пр} \cdot T_{зм} / W_{зм} = 1 \cdot 7 / 5,11 = 1,37 \text{ люд.-год/га.}$$

Те ж для удосконаленого варіанту:

$$Z_{рч2} = K_{пр} \cdot T_{зм} / W_{зм} = 1 \cdot 7 / 5,53 = 1,26 \text{ люд.-год/га.}$$

3. Відрахування на ТО, ПР, КР, зберігання, грн./га:

$$R_{ремк} = B_k \cdot r_k / W_{год} \cdot TЗ_k;$$

де  $B_k$  – балансова вартість агрегату; для базового – 568 000 грн.; а проектного – 572 300 грн.

$r_k$  – норма відрахувань, %, дорівнює 10 %;

$TЗ_k$  – річне завантаження агрегату, га (табл. 5.1).

Для існуючого варіанту:

$$R_{ремк1} = 568\,000 \cdot 3 \cdot / 0,73 \cdot 136,4 = 17\,113,24 \text{ грн.}$$

Для проектного варіанту:

$$R_{ремк2} = 572\,300 \cdot 3 \cdot / 0,79 \cdot 136,4 = 15\,933,22 \text{ грн.}$$

4. Відрахування на амортизацію, грн./га:

$$A_k = B_k \cdot a_k \cdot / W_{год} \cdot TЗ_k,$$

де  $a_k$  - норма відрахувань на амортизацію, 10 %.

$$A_{к1} = 568\,000 \cdot 10 \cdot / 0,73 \cdot 136,4 = 57\,044 \text{ грн.}$$

$$A_{к2} = 572\,300 \cdot 10 / 0,79 \cdot 136,4 = 53\,110 \text{ грн.}$$

5. Вартість палива знайдемо за формулою, грн.:

$$B_{пмм} = Z_{пмм} \cdot Ц_{к}$$

Для існуючого варіанту:

$$B_{пмм1} = 31,5 \cdot 9,8 = 308,7 \text{ грн. / га.}$$

Для проектного варіанту:

$$B_{пмм2} = 31,5 \cdot 9,6 = 302,4 \text{ грн. / га.}$$

6. Заробітна плата з нарахуваннями, грн./га:

$$ЗП = ТС / W_{год} \cdot 1,2 \cdot 1,362, \text{ де}$$

ЗП – заробітна плата;

ТС – тарифна ставка, рівна 62,58 грн.;

1,2 – коефіцієнт, що враховує додаткову доплату;

1,362 – коефіцієнт, що враховує розмір відрахувань на соціальні заходи.

$$ЗП_1 = (62,58 / 0,73) \cdot 1,2 \cdot 1,362 = 140 \text{ грн./га.}$$

$$ЗП_2 = (62,58 / 0,79) \cdot 1,2 \cdot 1,362 = 129,46 \text{ грн./га.}$$

$$ІВ = (ЗП + А + B_{пмм} + B_{рем}) \cdot 3 / 100$$

$$ІВ_1 = (140 + 57044 + 308,7 + 17113) \cdot 3 / 100 = 2238,17 \text{ грн. / га.}$$

$$ІВ_2 = (129,46 + 53110 + 302,4 + 15933) \cdot 3 / 100 = 2084,24 \text{ грн. / га.}$$

8. Експлуатаційні витрати (ЕВ) всього, грн./га:

$$ЕВ = ЗП + А + B_{пмм} + R_{рем} + ІВ$$

$$ЕВ_1 = 140 + 57044 + 308,7 + 17113 + 2238,17 = 76843,87 \text{ грн./га}$$

$$ЕВ_2 = 129,46 + 53110 + 302,4 + 15933 + 2084,24 = 71559,1 \text{ грн./га.}$$

9. Капітальні вкладення (КВ) на 1га, грн.:

$$КВ = B / Q$$

$$КВ_1 = B / Q = 568\,000 / 136,4 = 4164,22 \text{ грн. / га.}$$

$$КВ_2 = B / Q = 572\,300 / 136,4 = 4195,74 \text{ грн. / га.}$$

10. Приведені витрати на 1 га, грн.:

$$ПВ = ЕВ + 0,15 \cdot КВ$$

$$ПВ_1 = 76843,87 + 0,15 \cdot 4164,22 = 77468,50 \text{ грн. / га.}$$

$$ПВ_2 = 71559,1 + 0,15 \cdot 4195,74 = 72188,46 \text{ грн. / га.}$$

11. Економічний ефект у розрахунку на 1 га, грн.:

$$E_{pca} = ПВ_1 - ПВ_2 = 77468,50 - 72188,46 = 5\,280 \text{ грн. /га.}$$

12. Річний економічний ефект:

$$E_p = E_{pca} \cdot Q = 5\,280 \cdot 136,4 = 720\,197,46 \text{ грн.}$$

13. Термін окупності капітальних вкладень ( $T_o$ ), років:

$$T_o = \Delta KB / E_p,$$

де  $\Delta KB$  – розмір додаткових капітальних вкладень по проекту, який визначається по різниці капітальних вкладень.

$$T_o = \Delta KB / E_p = 4300 / 720\,197,46 = \text{до одного року.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2

### Техніко – економічні показники роботи

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Обсяг роботи, га	136,4	
Годинна продуктивність, га/год.	0,73	0,79
Витрати палива на 1га, кг	9,8	9,6
Балансова вартість агрегату, грн.	568 000	572 300
Експлуатаційні витрати на 1га, всього, грн.	76843,87	71559,1
в тому числі:		
- заробітна плата з нарахуваннями, грн.	140	129,46
- амортизаційні відрахування, грн.	57 044	53 110
- вартість ПММ, грн.	308,7	302,4
- витрати на ТО, ПР, КР, зберігання, грн.	17 113,24	15 933,22
- інші витрати, грн.	2238,17	2084,24
Капітальні вкладення на 1га, грн.	4164,22	4195,74
Річний економічний ефект, грн.	-	720 197,46
Термін окупності капітальних вкладень, років	-	До 1 року

**Висновок.** Лабораторними та польовими дослідженнями, а також розрахунками встановлено, що термін окупності запропонованих рішень складе до одного року, в залежності від річного навантаження на агрегат і обсягу робіт.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано та показано, що підвищення експлуатаційних показників МА без зупинки на регламентні ТО або ремонт – основна ідея впливу на параметри технічного стану трибоспрямижень без їх розбирання. За рахунок так званої технології ревіталізації робочих поверхонь тертя, яка здатна значно скоротити витрати як на ремонт, так і на технічне обслуговування і може бути ефективним заходом в технічному сервісі сільськогосподарських машин.

2. Виконання технічного обслуговування та сервісного супроводу імпортової техніки (John Deere, Case IH, FENDT, New Holland та ін.) сьогодні здійснюється силами дилерських сервісних центрів і є досить затратними для кінцевого споживача.

З'ясовано, що сучасні моторні оливи забезпечують максимально можливий термін служби, передбачений інструкцією і не утворюють на поверхнях деталей корисні відкладення у вигляді нашарувань, плівок тощо. Це один із важелів підвищення експлуатаційних властивостей машинних агрегатів.

Показано, що проблеми тертя в двигунах вирішують традиційними способами: зменшення шорсткості поверхні деталей; суворе дотримання геометричних параметрів деталей (овальність, конусність тощо), застосуванням відповідних, суворо регламентованих моторних оливок. У той же час сучасні дизелі не здатні навіть короткий час працювати в умовах «масляного голодування». При відмові системи мащення відбувається миттєва зупинка двигуна, часто в результаті заклинювання двигуна. Дана проблема не вирішена.

Проаналізовано, що застосування силікато-фулеренових геомодифікаторів в ДВЗ може підвищити експлуатаційні показники машинних агрегатів.

3. Лабораторними дослідженнями встановлено, що найменший показник моменту тертя  $M_{тр}$  мала композиція № 2, застосування якої забезпечило зменшення моменту тертя на 30,35 %. Тобто такого ефекту можна досягти, якщо у оливу 5W30 додати по 1,5 % силікату й фулерену.

Максимальне значення вагового зносу «колодки» має зразок, що випробовувався в композиції № 3 – чистій оливі. Найменший – у композиції № 6. Також малі значення вагового зносу мають зразки, що випробовувалися в композиціях № 4; № 5 і № 7.

Найменше значення мікротвердості зафіксовано саме при терті зразка в чистій, немодифікованій оливі, а найбільше – у композиціях 6 і 7.

Показано, що застосування композиції № 6 в якості модифікатора до моторної оливи сприяє підвищенню компресії в циліндрах двигуна Д-65НТ-1 на 2,3 %. Це дозволить збільшити ресурс двигуна, а також підвищити потужність трактора і підвищити швидкість агрегату у межах технологічно допустимих значень.

4. Проаналізовано та встановлено, що наукова лабораторія № 130 ДДАЕУ відповідає основним вимогам охорони праці і безпеки праці для виконання науково-дослідних робіт.

Сучасний стан наукових досліджень не виявив систематичного позитив-негативного впливу фулереновмісних композитів на клітини та організм людини в цілому.

Розроблена карта безпеки праці при виконанні науково-дослідних робіт на випробувальній машині СМЦ-2, що розташована в лабораторії № 130 дозволить звести до мінімуму виникнення небезпечних ситуацій та оперативно прийняти заходи по їх ліквідації, якщо такі все ж сталися.

5. Лабораторними та польовими дослідженнями, а також розрахунками встановлено, що термін окупності запропонованих рішень складе до одного року, в залежності від річного навантаження на агрегат і обсягу робіт.

## БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Muelhaupt R. Наноматериалы: шансы и риски. Полимер. матер.: издeлия, оборуд., технол. 2005, № 6, С.2-8.
2. <http://nano-info.ru>.
3. Osawa E., Kagaku (Kyoto) 25 (1970) 854 in Japanese. Chem. Abstr. 74 (1971) 75698v.
4. Бочвар Д. А., Гальперн Е. Г. Докл. АН СССР, Т.209, № 3, С.610 (1973).
5. Fuller R. B. and Applewhite E. J. Synergetics: Explorations in the Geometry of Thinking. New York: Macmillan. - 1975. – 876p.
6. Юровская М.А., Овчинникова Н.С, Елинсон В.М., Лямин А.Н., Никитин Д.И., Пономарев Г.В., Морозова Ю.В., Сидоров Л.Н. Синтез новых материалов медицинского назначения на основе полимеров с наноструктурированной поверхностью .Вакуум, техн. и технол. 2005, Т.15, №3, С.257-264.
7. Арбузов А.А., Мурадян В.Е., Смирнов Ю.Н., Шацкая Е.А., Натрусов В.И., Осипчик В.С. Адгезионная прочность эпоксиаминных композитов, модифицированных наночастицами углеродной и силикатной природы. Химическая технология: Тезисы докладов Международной конференции по химической технологии ХТ'07, Москва, 17-23 июня, 2007 и Региональной Центрально-Азиатской международной конференции по химической технологии, Ташкент, 6-8 июня, 2007. Т.2. М.: ЛЕНАНД. 2007, С.30-31.

8. Елинсон В.М., Юровская М.А., Лямин А.Н., Овчинникова Н.С. Новые композитные материалы на основе наноструктурированных полимеров, модифицированных производными фуллерена  $C_{60}$ . Высокие технологии в промышленности России (материалы и устройства функциональной электроники и микрофотоники): Материалы 12 Международной научно-технической конференции, Москва, 7-9 сент., 2006. М.: ЦНИТИ "Техномаш". 2006, С.117-121.
9. Костецкий Б.И. Трение и износ деталей машин // Труды первой научно-технической конференции. -М.: КИГВХ, 1956, с.149-153.
10. Основи трибології. Підручник. Антипенко А.М., Белас О.М., Войтов В.А. та ін. / За ред. Войтова В.А. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 342 с.
11. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. Совет: К.В. Фролов и др. – М.: Машиностроение. Т.IV-3. 2003 – 593 с.
12. <http://disser.com.ua/contents/1264.html>.
13. [www.megaforce.net.ua](http://www.megaforce.net.ua).
14. <http://nitrid-chemical.ru>.
15. Машина трения 2070 СМТ-1. Инструкция по эксплуатации.
16. Прилуцька С. В. Біохімічні ефекти фулеренів  $C_{60}$  та  $C_{60}$ -композитів у клітинах різних типів: дис. канд. біол. наук: 03.00.04 / Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. — К., 2007. — 125арк. — Бібліогр.: арк. 102-125.
17. О.Д. Деркач, О.І. Буря, Б.Г. Харченко, О.В. Іванькова. Застосування геомодифікаторів для поверхонь тертя при технічній експлуатації сільськогосподарської техніки. Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. Випуск 109 «Проблеми технічної експлуатації машин» - Х.: Віровець АП «Апостроф», 2011
18. Триботехнология восстановления деталей мобильной с.-х. и транспортной техники модификацией моторного масла фуллеренсодержащим составом / В. В. Аулин, А. Д. Деркач, А. И. Буря [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. - 2014. - № 4. - С. 26-29.

19. В.В. Аулін, О.Д. Деркач, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків. Вплив фулерено вмісних олив на фізико-механічні властивості поверхні тертя спряжень деталей - Проблеми трибології, Вип. 4 – 2018. - С. 60-64.
20. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. / М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.; За заг. ред. М.І. Черновола.– Кіровоград: ТОВ «КОД», 2010. – 320 с.
21. О. Сидорчук, Т. Падюка. Дослідження поопераційних елементів часу на виконання технологічних операцій рільництва / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ndipvt.com.ua/oldsite/konf7/2/sidorchuk.htm>. Останнє звернення: 28.01.2022 р.
22. Ільченко В. Ю. та ін. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. - К.: Урожай, 1993., - 288 с.
23. Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу "Теоретичні основи експлуатації сільськогосподарської техніки". Для студентів спеціальності 208 "Агроінженерія", спеціалізації "Технічний сервіс" освітньо-кваліфікаційного рівня магістр. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. - 105 с.
24. Кабінет фізики. Солотвинський НВК. Тертя. Сила тертя. Коефіцієнт тертя ковзання. Тертя в природі і техніці. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sites.google.com/site/kabinetfizikisolotvinskijnvk/dla-ucniv/7-klas/111/terta-sila-terta-koeficient-terta-kovzanna-terta-v-prirodi-i-tehnici>. Останнє звернення: 29.01.2022 р.
25. Деркач О.Д., Харченко Б.Г., Макаренко Д.О., Міщенко Г.Я. Дослідження триботехнічних характеристик силікато-фулеренових композицій для поверхонь тертя сільськогосподарської техніки / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, Випуск 121, «Технічний сервіс машин для рослинництва». – Х.: Віровець А.П. «Апостроф», 2012. – 270. - С. 7-13.
26. Деркач О.Д., Буря О.І. Застосування фулереновмісних матеріалів у технічному сервісі автотранспортних засобів / Наукові нотатки. Міжвузівський

збірник Луцького національного технічного університету. Вип. 36, Луцьк, 2012, С. 86-90.

27. Fowler P.W., Manolopoulos D.E. An Atlas of Fullerenes. Oxford. – 1995 - 392p.

28. Присадки MEGAFORCE – відновляй не розбираючи. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.megaforce.net.ua](http://www.megaforce.net.ua). Останнє звернення: 29.01.2022 р.

## ДОДАТКИ