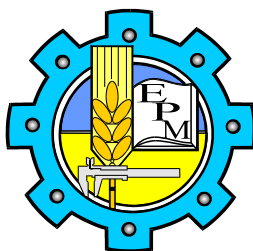


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Експлуатація та ремонт машин»



ТЕРТЯ, ЗМАЩЕННЯ ТА СПРАЦЮВАННЯ В МАШИНАХ

Методичні вказівки до виконання практичних занять
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

Кропивницький

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Експлуатація та ремонт машин»

ТЕРТЯ, ЗМАЩЕННЯ ТА СПРАЦЮВАННЯ В МАШИНАХ

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

Затверджено
на засіданні кафедри
експлуатації та ремонту машин
протокол № 1 від 29.08.2023

Кропивницький

2023

Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Тертя, змащення та спрацювання в машинах» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»/ уклад.: І.В. Шепеленко, М.В. Красота, Р.А. Осін. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 45 с.

Укладачі:

Шепеленко Ігор Віталійович, д.т.н., проф. кафедри ЕРМ;

Красота Михайло Віталійович, к.т.н., доц. кафедри ЕРМ;

Осін Руслан Анатолійович, к.т.н., доц. кафедри ЕРМ

Рецензент: Солових Є.К. – д.т.н., проф. кафедри ЕРМ

Загальна редакція: І.В. Шепеленко, д.т.н., проф. кафедри ЕРМ

Відповідальний за випуск: М.В. Красота, к.т.н., доц. кафедри ЕРМ

Комп'ютерний набір та верстка: Р.А. Осін, к.т.н., доц. кафедри ЕРМ

© І.В. Шепеленко, М.В. Красота, Р.А. Осін 2023.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
<i>Практичне заняття №1</i>	
Випробування матеріалів на тертя та знос.....	6
<i>Практичне заняття №2</i>	
Випробування матеріалів на абразивне зношування.....	8
<i>Практичне заняття №3</i>	
Визначення протизадирних та протизносних властивостей змащувальних матеріалів.....	16
<i>Практичне заняття №4</i>	
Визначення корозійності оливи.....	21
<i>Практичне заняття №5</i>	
Вимірювання характеристик шорсткості поверхні деталі.....	25
<i>Практичне заняття №6</i>	
Визначення вмісту механічних домішок.....	38

Вступ

У загальній проблемі надійності, точності і довговічності машин, механізмів і приладів основне місце належить питанням тертя, змащувальній дії, зношуванню поверхонь деталей і робочих органів, які є між собою в дуже складних кореляційних залежностях. Вивченням причин руйнування деталей в експлуатації та розроблення методів підвищення довговічності машин займаються вчені і спеціалісти багатьох промислово розвинених країн світу.

Тертя, змащування та зношування в машинах органічно пов'язані між собою. Неможливо говорити про вирішення завдання зносостійкості без допомоги теорії тертя і зношування чи про розроблення змащувальної техніки і матеріалів без розуміння природи явищ тертя і зношування.

Метою викладання дисципліни «Тертя, змащення та спрацювання в машинах» є формування знань та вмінь з фундаментальних питань теорії тертя і зношування твердих тіл та вміння використовувати їх на практиці.

Завдання дисципліни полягає у наступному:

- сформулювати уявлення про явища, що протікають в зоні фрикційного контакту, їх механізми і умови протікання;
- прикріпити навички використання теоретичних знань при вирішенні практичних питань з вибору комплексу заходів, направлених на підвищення зносостійкості деталей машин;
- сприяти формуванню у студентів інженерного мислення та розвивати підхід до вирішення технічних проблем.

Теоретичні основи дисципліни здобувач отримує з лекційного курсу. Для закріплення предмету проводяться практичні заняття. Курс лекцій і практичні заняття дозволяють одержати струнку систему знань про основні закономірності, що протікають в зоні тертя деталей машин, здійснювати підбір матеріалів та мастильних середовищ для сучасних трибовузлів; володіти методиками проведення триботехнічних випробувань; оцінювати стан трибосистеми та прогнозувати її ресурс.

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА ТЕРТЯ ТА ЗНОС

Мета заняття – вивчити устаткування, прилади і методи, що застосовувані при дослідженні зносостійкості матеріалів.

У відповідності зі стандартом зносом називається процес поступової зміни розмірів тіла при терті, що виявляється у відділенні з поверхні тертя матеріалу та його залишкової деформації. Знос є основним чинником, який визначає довговічність машини.

Основною кількісною мірою зносу є сумарна величина руйнування, що визначається за зміною розмірів деталей (лінійний знос). Допоміжними критеріями оцінки зносу служать показники зменшення об'єму (об'ємний знос) або маси деталі (масовий знос).

Крім того стандартом передбачені наступні поняття і визначення:

- швидкість зношування – відношення величини зносу до величини часу;
- інтенсивність зношування – відношення величини зносу до обумовленого шляху або об'єму виконаної роботи;
- відносна зносостійкість – відношення зносостійкості випробуваного матеріалу до зносостійкості матеріалу, що прийнятий за еталон.

Випробування антифрикційних властивостей і зносостійкості матеріалів проводиться в три етапи.

Перший етап – лабораторні випробування, мета яких дослідження впливу різних факторів (швидкості, навантаження, температури, навколишнього середовища та ін.) на антифрикційні властивості і зносостійкість пари тертя.

Другий етап – стендові випробування. Вони призначені для оцінки впливу конструктивних особливостей на антифрикційні властивості вузла тертя.

Третій етап – натурні випробування, призначені для визначення експлуатаційних характеристик вузла тертя, у тому числі надійності і довговічності в реальних умовах.

Лабораторні випробування проводяться на лабораторній установці і приладах по тих чи інших методиках. Найбільшого розповсюдження отримали машини для дослідження матеріалів на тертя і знос, які реалізовані по одній з кінематичних схем (рис. 1).

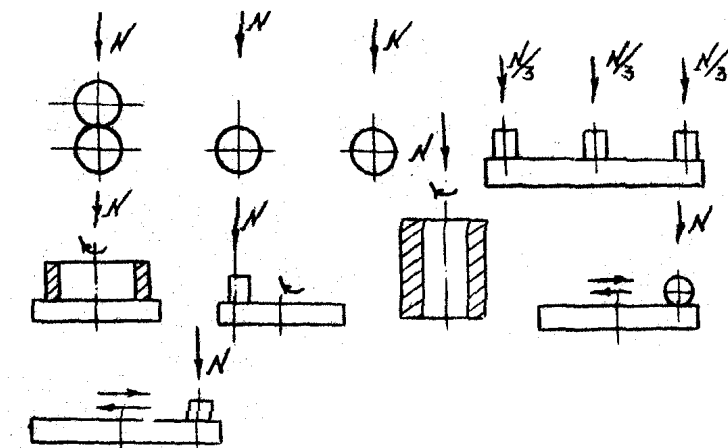


Рис.1. Схеми випробувань матеріалів на машинах тертя

Загальний для кожної випробувальної машини пристроєм є прилад для зміни сили тертя.

Існуючі для цієї мети прилади можна класифікувати на механічні, пневматичні, гідравлічні та електричні.

Для виміру температури в зоні тертя здебільшого застосовуються термопари.

Для виміру масового зносу застосовуються ваги різних марок, а для виміру лінійного зносу – мікрометри, вертикальні і горизонтальні оптиметри. Значно рідше користуються методом штучних баз, що полягає у визначенні шляхом обчислення відстані від поверхні тертя до дна поглиблення, штучно зробленого на цій поверхні і, що закономірно звужується від поверхні до дна поглиблення.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією основних вузлів машини тертя – пристроями для навантаження, реєстрації моменту тертя і температури.
2. Вивчити методики проведення випробувань на антифрикційні властивості і зносостійкість матеріалів.
3. За даними викладача розрахувати параметри зносостійкості пари тертя.

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Кінематична схема машини тертя.
3. Результати розрахунків.

Контрольні запитання

1. Види зношування.
2. Тертя і знос. Основні поняття і визначення.
3. Етапи зносних випробувань.
4. Методи визначення величини зносу.

Практичне заняття №2

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА АБРАЗИВНЕ ЗНОШУВАННЯ

Мета заняття – вивчити основні методики і практики дослідження процесу зношування на машині тертя.

Однією з основних причин, що викликають втрату працездатності машин і складових її частин є зношування деталей сполучення внаслідок тертя.

Процес тертя має складну природу і супроводжується комплексом явищ механічного, фізико-механічного, хімічного, теплового та електричного характеру, що приводять до руйнування (зношення) поверхонь тертя.

Для основних термінів в області тертя і зношування розроблені ГОСТ 2823-94 і ГОСТ 27674-88, згідно яких деякі з них трактуються таким чином:

- зношування – процес відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і (або) збільшення його залишкової деформації при терті, що виявляються в постійній зміні розмірів і (або) форми тіла;
- знос – результат зношування, що обумовлений у встановлених одиницях (одиниці довжини, об'єму, маси).

Зношування є дуже складним процесом, що залежить не тільки від значного числа зовнішніх факторів, але і від багатьох факторів, пов'язаних самим процесом тертя. У зв'язку з цим, при терті спостерігається велика різноманітність протікання процесів зношування, а таким чином і різноманітність видів зношування, одним із яких є абразивне зношування.

Абразивне зношування – це механічне зношування матеріалу в результаті ріжучої дії твердих тіл або твердих часток. Тверді частки можуть знаходитися в закріпленому або вільному стані.

Абразивне зношування може відбуватися при терті сполучених деталей і має місце при русі тіла в абразивному середовищі (працюючі органи ґрунтообробних машин, землерийних машин і ін.).

Зношуванні абразивні частки можуть потрапляти у з'єднання тертя (з пилом ґрунтового походження, із забрудненим змащенням), знаходиться в матеріалі поверхонь тертя (тверді структурні складові) або утворюватися в процесі тертя (продукти зношування).

Абразивне зношування характеризується деякими закономірностями, до яких, зокрема, відносяться наступні:

- знос за інших рівних умов пропорційний питомому навантаженню (при постійній площі контактування – пропорційний загальному навантаженню) і часу зношування;
- знос за інших рівних умов зворотно-пропорційний твердості поверхневого шару матеріалу.

Для виконання досліджень застосовується універсальні машини тертя (наприклад, МІ-1М). На машині тертя можна вести іспити при терті ковзання, при терті коченні, при терті проковзування як при змащенні, так і без її. Машина має пристрій, що дозволяє визначити сумарну роботу тертя.

Машину тертя можна використовувється для дослідження закономірностей абразивного зношування при терті ковзання без змащення. Функцію абразивного матеріалу виконує абразивна шкурка, що розташована між нерухомою колодкою та обертовим зразком – роликом (рис.2).

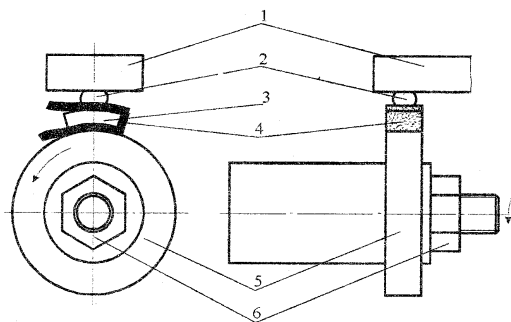


Рис.2. Схема установки абразивної шкурки на машині тертя: 1 – пластина верхнього валу; 2 – куля; 3 – колодочка, 4 – абразивна шкурка; 5 – ролик; 6 – гайка нижнього валу

Машина тертя складається із станини, на якій закріплений електродвигун, що передає через зубчасту планетарну передачу обертальний рух на нижній вал. Частота обертання нижнього валу – 430 хв^{-1} . На кінці нижнього валу (див. рис.2) закріплений зразок – ролик діаметром 40 мм і шириною 10 мм. Верхній вал розташовується в кулькових підшипниках рамки, що може повертатися навколо осі. На кінці верхнього вала закріплена пластина, у якій зачekanена куля. Через цю пластину і кулю передається навантаження від рамки на колодочку, що встановлена попередньо на ролик. При даних випробуваннях обертання верхнього вала відключено, тобто колодочка нерухома.

Під час роботи машини, рамка, за допомогою черв'ячної передачі та ексцентрика робить осцилюючий рух вздовж осі нижнього вала з амплітудою 4 мм, що забезпечує рівномірне зношування поверхні ролика і колодки.

Навантаження на зразок створюється під власною вагою рамки 150 Н і може бути збільшене до 200 Н натягом пружини.

Зносні випробування в умовах тертя про абразивну шкурку виконується при навантаженнях менших за 150 Н, у зв'язку з цим до рамки машини встановлений пристрій, що розвантажує. Зміною положення вантажу до 40 Н можна одержати три значення навантаження на зразок (вантаж переміщується на важелі): 40 Н, 60 Н, 80 Н.

Оцінка величини зносу за даний проміжок часу випробувань поляється за втратою маси, тобто величина зносу визначається як різниця у масі зразка до і після випробувань. Для зважування застосовуються аналітичні ваги АДВ-200.

Характеристика аналітичних ваг:

- граничне навантаження – 200 г;
- ціна розподілу оптичної шкали – 0,1 мг;
- похибка від нерівноплечності - $\pm 0,2$ мг.

Для переходу від маси до лінійної величини зносу необхідно дані по масі (Q) перевести у лінійний знос (U) за формулою:

$$U = \frac{Q}{\pi D h \gamma} \cdot 10^6 \text{ мкм},$$

де Q – величина зносу, г;

h – ширина зразка, мм;

D – діаметр зразка, мм;

γ – питома маса зразка, $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

Величина зносу по масі і лінійному зносу заноситься в таблицю вихідних даних. Результати іспитів на машині тертя підлягають статистичній обробці. Необхідність статистичної обробки результатів іспитів зношування викликана тим, що процес зношування відноситься до категорії випадкових процесів, а знос є випадковою величиною. Це пояснюється тим, що під дією численних непередбачених факторів величина зносу за тієї самий проміжок часу не буде однаковою, а розходження його має випадковий характер. Застосування

ймовірно-статистичних методів обробки та аналіз експериментальних даних дозволяє знайти загальні закономірності, що властиві даному процесу.

Статистична обробка експериментальних даних по першому варіанту дозволяє перевіряти твердження про те, що зміна твердості матеріалу впливає на величину зносу.

При виконанні варіантів завдання використовується метод найменших квадратів, за допомогою якого за результатами експерименту оцінюються коефіцієнти рівняння, що приблизно характеризує лінійну залежність між двома величинами знос – зношування або знос навантаження.

Метод найменших квадратів базується на положенні про те, що якщо сума квадратів відхилень експериментальних точок від даної лінії будуть мінімальною, то ця лінія, із усіх можливих ліній даного виду, з найбільшою ймовірністю характеризує у середньому досліджувальний процес.

Порядок виконання роботи

Перший варіант завдання

1. Отримати від викладача вихідну інформацію у вигляді даних табл.2.

Другий варіант завдання

1. Отримати від викладача вихідну інформацію у вигляді даних табл.4.

Обробка експериментальних даних

Перший варіант завдання

На першому етапі статистичного аналізу проводять порівняння зносів двох зразків, що мають різну твердість, для з'ясування питання про не випадковий (значимий) або випадковий (незначимий) характер розбіжності, тобто встановлення наявності або відсутності зв'язку між зносом і твердістю матеріалу. Для цієї мети проводиться статистична перевірка гіпотези про рівність середніх.

За результатами експерименту для кожного зразка визначаються:

- середнє значення зносу

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n};$$

- середнє квадратичне відхилення

$$S = \sqrt{\frac{n}{n-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2}{n} - (\bar{U})^2 \right]};$$

- величина кореня квадратичного із середньозваженої дисперсії

$$S^* = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}},$$

де U_i – величина лінійного зносу в i -випробуванні, мкм;

n_1 і n_2 – кількість повторних випробувань для кожного зразка.

Задаючи довірчу імовірність ρ і визначивши кількість ступенів вільності

$k = n_1 + n_2 - 2$, встановлюють чи виконується нерівність

$$|\bar{U}_1 - \bar{U}_2| > t(\rho, k) S^* \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}},$$

де $t(\rho, k)$ – параметр розподілу Стюдента при імовірності ρ і кількості ступенів вільності k .

Якщо зазначена нерівність виконана, то розходження середніх вважається значимим, у протилежному випадку це розходження є випадковим, несуттєвим.

На іншому етапі дослідження встановлюється залежність між лінійним зносом і часом зношування, і для кожного зразка будується графік функції $U=f(t)$.

Для абразивного зношування цю залежність можна подати у вигляді лінійної функції, що характеризує середнє значення зносу при даному часі зношування $U=a+bt$.

Параметри рівняння визначаються за методом найменших квадратів

$$b = \frac{n \sum_1^n (t_i \cdot U_i) - \sum_1^n t_i \cdot \sum_1^n U_i}{n \sum_1^n t_i^2 - \left(\sum_1^n t_i \right)^2};$$

$$a = \bar{U} - bt,$$

де t_i і U_i – час і величина зносу за результатами експерименту за наростаючим підсумком;

$\bar{U}$ – середнє значення накопиченого зносу;

n – кількість фіксованих значень часу випробувань (у нашому випадку $n=5$).

Для зручності виконання розрахунків складається допоміжна таблиця (табл.3).

Після розрахунків для кожного зразка параметрів рівнянь лінії зношування будується графік, на якому наносяться експериментальні крапки і проводяться лінії, що відповідають рівнянням.

Другий варіант завдання

Задачею статистичного дослідження є встановлення залежності між зносом U і навантаженням P при абразивному зношуванні і побудова графіка функції $U=f(P)$.

Відомо, що зв'язок між зносом і навантаженням при абразивному зношуванні про шкурку з закріпленим абразивом (при збереженні площі контактуючих тіл) визначається лінійною залежністю вигляду $U=cP$, що характеризує середнє значення зносу за визначений час при даному навантаженні. Тут c – коефіцієнт пропорційності, який постійний для даних умов випробувань.

Параметр c визначається за способом найменших квадратів

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i U_i}{\sum_{i=1}^n P_i^2},$$

де P_i і U_i – навантаження і знос відповідно по кожному іспиту.

Для зручності розрахунків складається допоміжна таблиця (табл.5).

Після розрахунків параметрів будується графік, на якому наносяться експериментальні крапки, і проводиться лінія, що відповідає даному рівнянню.

Зміст звіту

Даний звіт повинний містити наступні розділи:

1. Задачі дослідження.
2. Методика дослідження.
 - 2.1. Об'єкт дослідження.
 - 2.2. Устаткування і вимірювальні засоби.
 - 2.3. Методика виконання іспитів.
 - 2.4. Методика статистичної обробки експериментальних даних.
3. Результати дослідження.
 - 3.1. Вихідні експериментальні дані (таблиці).
 - 3.2. Допоміжні розрахункові таблиці.
 - 3.3. Результати розрахунків статистичних параметрів та їх аналіз.
4. Висновки.

Таблиця 2 – Звітні дані результатів абразивного зношування на машині тертя

№ іспиту	Маса зразка, г		Величина зносу	
	До іспиту	Після іспиту	г	мкм
Зразок №1				
Зразок №2				

Таблиця 3 – Розрахункова таблиця для визначення параметрів рівняння зношування

Час зношування	Величина накопиченого зносу, U_i , мкм	t_i^2	$t_i U_i$
Зразок №1			
Зразок №2			

Таблиця 4 – Дані іспиту результатів абразивного зношування на машині тертя

№ іспиту	Маса зразку, г, що випробується при навантаженні, Н								
	40			60			80		
	До іспиту	Після іспиту	Величина зносу	До іспиту	Після іспиту	Величина зносу	До іспиту	Після іспиту	Величина зносу

Таблиця 5 – Розрахункова таблиця для визначення параметрів рівняння зношування

№ іспиту	Навантаження	Величина зносу, мкм	P_i^2	$P_i U_i$
----------	--------------	---------------------	---------	-----------

Контрольні запитання

1. Чому при експериментальних дослідженнях процесу зношування необхідне застосування статистичних методів обробки експериментальних даних?
2. Пояснить методику зважування на аналітичних вагах.
3. Викласти методику виконання експериментальних досліджень на машині тертя для перевірки гіпотези рівності середніх значень величин зносів при випробуваннях двох зразків.
4. Який статистичний метод використовується для опису запропонованого рівняння зв'язку між величинами (знос-час зношування, знос-навантаження) і в чому його сутність?

Практичне заняття №3

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОТИЗАДИРНИХ ТА ПРОТИЗНОСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗМАЩУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета заняття – ознайомлення з методикою визначення протизадирних та протизносних властивостей змащувальних матеріалів.

З різноманітних форм зношування поверхонь тертя деталей, найбільшу небезпеку являє зношування, що супроводжується заїданням, яке через інтенсивне руйнування робочих поверхонь деталей порівняно за короткий час може вивести пару тертя із ладу.

Оцінку визначення протизадирних і протизносних властивостей мастильних матеріалів проводять на чотирикульковій машині тертя.

Чотирикулькова машина тертя має важливі переваги перед іншими випробувальними машинами:

- в якості випробувальних зразків використовують стандартні підшипникові кульки діаметром 12,7 мм зі сталі ШХ-15, що відрізняються високою однаковістю всіх параметрів і низькою вартістю;
- для дослідження протизадирних і протизносних властивостей мастильних матеріалів потрібно невелика їх кількість (25 мл на один іспит);
- відзначається низька погрішність результату (не більш 3 % для паралельних випробувань для однієї чотирикулькової машини);
- результати випробувань мастильних матеріалів на чотирикульковій машині знаходяться у кореляції з результатами експлуатаційних випробувань.

Вузол тертя машини (рис.3) складається з чотирьох підшипникових кульок діаметром 12,7 мм із центрами, розташованими у точках O , O_1 , O_2 , O_3 .

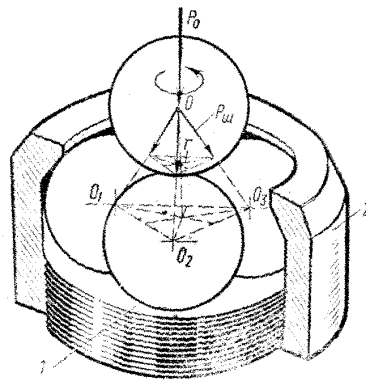


Рис.3. Схема вузла тертя чотирикулькової машини

Верхня кулька жорстко закріплена на кінці вала приводу. Нижні три кульки розташовані в чашці, що складається з нижньої опори 1 і гайки 2, за допомогою якої кульки жорстко фіксуються щодо опори та одна від одною. Контактвання верхньої кульки з нижньою відбувається в трьох точках, що знаходяться від вертикальної осі піраміди на відстані $r = \frac{R}{\sqrt{3}}$, де R – радіус кульки, тобто $r=3,66$ мм. Якщо верхню кульку притискати до нижньої силою P_0 , то в кожній точці контакту буде виникати зусилля $P_{\text{ш}} = 0,408P_0$.

Критичним навантаженням (P_k) вважають навантаження, при якому середній діаметр плям зносу нижніх кульок знаходиться в межах значень

величини граничного зносу ($d_r + 0,15$), де d_r – діаметр площі пружної деформації по Герцу при навантаженні P , мм.

Навантаженням зварювання (P_c) вважають найменше навантаження, при якому відбулася автоматична зупинка машини при досягненні моменту тертя $120 \text{ кгс} \cdot \text{см}$ або зварювання кульок.

Індексом задиру (I_3) вважають безрозмірну величину, що обчислюється за результатами виміру зносу кульок від початкового навантаження до навантаження зварювання.

Для визначення індексу задиру (I_3) попередньо обчислюють величину умовного навантаження (Q) за формулою

$$Q = P \frac{d_r}{d_u},$$

де P – осьове навантаження, кгс;

d_r – діаметр площі пружної деформації по Герцу при навантаженні P , мм;

d_u – середній діаметр плям зносу при навантаженні P_i , мм.

Індекс задиру (I_3) обчислюють за формулою

$$I_3 = \frac{\sum Q}{n},$$

де $\sum Q$ – сума величин умовного навантаження від початкового до попереднього навантаження зварювання;

n – кількість випробувань.

Показником зносу (D_u) вважають середнє арифметичне значення діаметрів плям зносу нижніх кульок двох паралельних випробувань.

Випробування складається із серій визначень. Кожне визначення проводять на новій пробі випробуваного мастильного матеріалу із чотирма новими кульками. Для проведення випробувань кульки закріплюють у шпинделі машини та у чашці для мастильного матеріалу. Потім установлюють чашку з мастильним матеріалом у машину, додають задане навантаження і включають електродвигун.

Тривалість випробувань від моменту включення до моменту вимикання електродвигуна при визначенні критичного навантаження, навантаження зварювання та індексу задиру повинна бути $10 \pm 0,2$ с, при визначенні показника зносу – 60 хв.

При визначенні індексу задиру, що характеризує здатність мастильного матеріалу знижувати ушкодження поверхонь тертя із-за задир, випробування починають з початкового навантаження, що дорівнює 20 кгс. Наступні випробування проводять зі зростаючими навантаженнями відповідно до ряду навантажень.

При визначенні критичного навантаження, що характеризує здатність мастильного матеріалу запобігати виникненню задиру поверхонь тертя, і навантаження зварювання, що характеризує граничну працездатність мастильного матеріалу в умовах випробування, попередньо проводять ряд послідовних досліджень з зменшуючими або зростаючими навантаженнями, що максимально наближені до пропонованих критичному навантаженню і навантаженню зварювання. Потім, використовуючи ряд навантажень, установлюють значення критичного навантаження і навантаження зварювання.

Показник зносу, що характеризує вплив мастильного матеріалу на знос поверхонь тертя, при постійному навантаженні, що менша за критичну, визначають при навантаженні, яке встановлене у нормативно-технічній документації на мастильний матеріал.

Після закінчення дослідження та охолодження вузла тертя нижче 40°C , зливають рідкий мастильний матеріал і знімають ватяним тампоном пластичний мастильний матеріал з ділянок тертя на нижніх кульках.

Потім вимірюють діаметри плям зносу кожної з трьох нижніх кульок у напрямку ковзання і перпендикулярно їй в площині, що перпендикулярна оптичній осі об'єктива мікроскопу. За результат виміру приймають середнє арифметичне значення вимірів плям зносу нижніх кульок у двох напрямках.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією чотирикулькової машини тертя.
2. Вивчити методики проведення досліджень протизадирних та протизносних властивостей змащувальних матеріалів.
3. За вихідними даними викладача провести розрахунки протизадирних та протизносних властивостей змащувальних матеріалів, за результатами яких заповнити табл.6 – 9.

Зміст звіту

Звіт виконують у вигляді протоколу за формою, яка приведена в таблицях 6, 7, 8, 9.

Таблиця 6 – Визначення індексу задиру (I_3).

№ випроб.	Навантаження, кгс	Діаметри плями зносу шести нижніх кульок, мм	Середній діаметр плями зносу, мм	Граничний знос ($d_r + 0,15$), мм	$P_i d_r$	$Q = \frac{P \cdot d_r}{d}$

Визначення індексу задиру $I_3 = \frac{\sum Q}{n}$.

Таблиця 7 – Визначення критичного навантаження (P_K)

№ випроб.	Навантаження, кгс	Діаметри плями зносу шести нижніх кульок, мм	Середній діаметр плями зносу, мм	Критичне навантаження, кгс

Таблиця 8 – Визначення навантаження зварювання (P_c)

№ випроб.	Діаметри плями зносу шести нижніх кульок, мм	Середній діаметр плями зносу, мм	Навантаження зварювання, кгс

Таблиця 9 – Визначення показника зносу (D_n) при навантаженні P =кгс

№ випроб.	Діаметри плями зносу шести нижніх кульок, мм	Середній діаметр плями зносу, мм

Контрольні запитання

1. Що собою являє чотирикулькова машина тертя?
2. Викласти методику визначення показників контролю оливи.

Практичне заняття №4

ВИЗНАЧЕННЯ КОРОЗІЙНОСТІ ОЛИВИ

Мета заняття – ознайомлення з методами визначення корозійності оливи та приладів, що використовуються при цьому.

Корозійний знос деталей тертя залежить від якості самої оливи і кількості корозійно-активних речовин, що утворюються в оливі у процесі роботи двигуна чи потрапили в нього ззовні.

Корозійні властивості оливи обумовлені присутністю мінеральних кислот і лугів, органічних кислот, активних сірчистих з'єднань і оксидів сірки.

Присутність мінеральних кислот і лугів в оливах не допускається.

Вміст органічних кислот в оливах суворо обмежено і оцінюється кислотним числом.

Кислотне число – це кількість міліграмів лугу КОН, необхідного для нейтралізації кислот, що містяться в 1 г оливи.

При експлуатації двигуна моторна олива в картері окисляється і у ньому поступово утворюються і накопичуються кислі продукти, здатні викликати корозійний знос деталей (особливо вкладишів підшипників).

Однак не всі кислі продукти, що утворюються в оливі, однакові за агресивністю. Наприклад, високомолекулярні кислоти діють на метали слабкіше, низькомолекулярні – сильніше. Тому, при оцінці експлуатаційних властивостей оливи важливо знати не загальний вміст кислот і кислих продуктів, а ту дію, що вони мають на деталі двигуна, тобто корозійні властивості оливи.

З метою зменшення корозійного впливу олив в них додають спеціальні антикорозійні присадки.

Корозійність моторних олив оцінюється на приладі Пенкевича або на установці ПЗЗ і за методом НАМИ.

Відповідно до ГОСТ корозійність моторних олив і присадок до них по методу НАМИ визначають на приладі ДК-НАМИ.

Сутність методу полягає у визначенні втрати маси свинцевої пластини із свинцю марок С1 чи С2, яка піддається періодичному впливу випробуваної оливи і повітря при 140 °С. Метод передбачає два варіанти визначення корозійності олив: визначення корозійності (перший варіант) без додавання каталізатора протягом 10 г при 140 °С і (другий варіант) з додаванням каталізатора (для масел групи Г і присадок до них) протягом 25 г при температурі 140 °С. У лабораторному практикумі приведений перший варіант визначення корозійності олив.

На рис. 4 показано прилад ДК-НАМИ. Десять L - подібних скляних реакційних колб 2 розміщуються в спеціальній касеті 3, що обертається на валу приладу в рідині термостата 4. Через горловину в кожному L - подібну колбу вставляють скляний тримач із трубчастою ніжкою і стержень. Касета обертається в похилій площині (кут нахилу 20°) від електродвигуна 6, зв'язаного з валом приладу через редуктор 7. Для перемішування рідини (оливи) у термостаті на валу приладу під касетою встановлена мішалка 5.

Термостатуюча рідина нагрівається за рахунок чотирьох нагрівальних елементів. Два з них підключені до електричної мережі постійно і служать тільки для початкового розігрівання рідини в термостаті до температури досліду. Два інших включаються в електричну мережу через терморегулятор, що складається з контактного термометра 1 і реле. Касета піднімається і опускається піднімальним механізмом, що приводиться в дію від електродвигуна.

Для занурення касети з колбами в термостат її надягають на верхній кінець вала, ставлять ручку перемикача на пульті керування приладу в режим «Робота» і після початку обертання ведучого вала (проти ходу годинної стрілки) злегка натискають вниз. Касета опускається до спеціального упора.

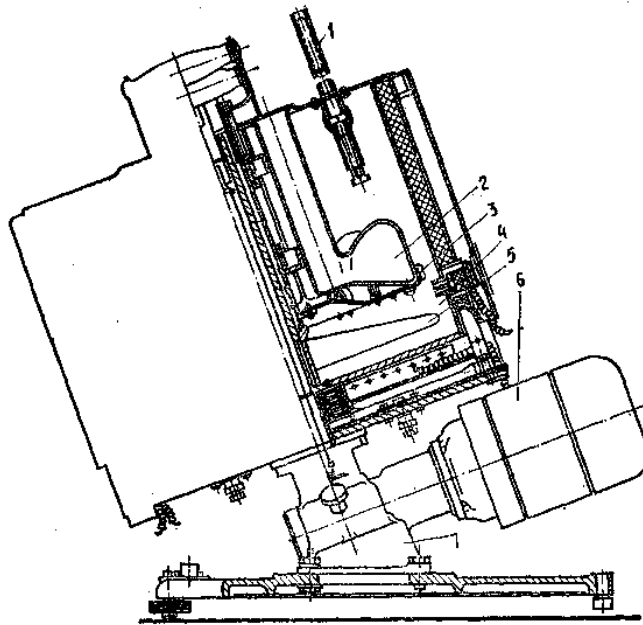


Рис. 4. Прилад для визначення корозійності оливи ДК-НАМИ:

1 – контактний термометр; 2 – реакційна колба; 3 – касета для реакційних колб; 4 – термостат; 5 – перемішувач; 6 – електродвигун; 7 – редуктор

При підйомі касети спочатку зупиняють електродвигун, перемикач повертають у режим «Підйом». При цьому ведучий вал обертається по ходу годинної стрілки, під тиском оливи фіксатор зупиняє касету, вона піднімається і потім зупиняється. Ознакою зупинки касети служить характерний звук.

Перед проведенням досліду готують свинцеві пластини. Свинець марки С1 чи С2 прокочують через вальці спеціального пристрою до товщини 1 мм. З отриманого листа вирубують пластини за допомогою пристосування, що представляє собою металеву трубку з загостреним нижнім торцем і заданими розмірами. Свинцеві пластини маркують, протирають ватою, змоченою бензолом і полірують до блиску сукном чи замшею. Потім їх промивають у порцеляновій чашці бензолом, сушать протягом 10...15 хв на повітрі (чи на фільтрувальному папері) і зважують з похибкою не більш 0,0002 г.

Пробу випробуваної оливи ретельно перемішують протягом 5...10 хв у ємкості, заповненій не більше ніж на $\frac{3}{4}$ об'єми. Потім беруть дві навішення оливи по 36,5 г з похибкою не більш 0,1 г і поміщають їх у чисті і сухі (попередньо промиті хромовою сумішшю) реакційні колби приладу.

Підготовлені свинцеві пластини пінцетом надягають на скляні стержні, що вставляють у нижні кінці трубок тримачів, а тримачі в реакційні колби, після чого колби встановлюють у касету приладу.

Зібраний прилад ДК-НАМИ встановлюють у витяжній шафі сурово горизонтально, термостат закривають кришкою, вставляють у неї термометри і включають нагрівальні елементи.

При температурі 40...50°C включають мішалку і продовжують нагрівати термостатуючу рідину до 140 °С. Потім на час відключають контактний термометр, нагрівання продовжують до 145... 148 °С, спостерігаючи за температурою по контрольному термометрі. При досягненні цієї температури на вісь вала приладу надягають і занурюють в оливу касету з реакційними колбами, термостат закривають кришкою з термометрами, включають мішалку, приводять в обертання касети і засікають час початку випробування.

Після завершення випробування (через 10 г) прилад відключають від електричної мережі, виймають касету і охолоджують її на повітрі. З колб виймають свинцеві пластини і опускають у чашку з бензолом. Пластини обробляють так, щоб крапля бензолу після промивання не залишала на фільтрувальному папері масляної плями.

Потім пластини сушать на повітрі і зважують з похибкою не більш 0,0002 г.

Обробка результатів. Корозійність X (г/м²) свинцевих пластин обчислюють по формулі

$$X = \frac{m}{F}$$

де m – втрата маси свинцевої пластини за час випробувань, г; F – площа поверхні пластини, м².

Корозійність оливи підраховують як середнє арифметичне випробувань двох пластин. Якщо корозійність дорівнює 1 г/м² чи менша, то вважають, що корозія відсутня. Отримані результати порівнюють з вимогами ГОСТ на оливу.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методами визначення корозійності оливи.
2. Вивчити прилади та устаткування, що застосовуються при визначенні корозійності оливи.
3. За вихідними даними викладача виконати корозійності оливи.

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Схема приладу для визначення корозійності оливи ДК-НАМИ.
3. Результати розрахунків.

Контрольні запитання

1. Сутність методу визначення корозійності оливи.
2. Устаткування, що використовується для визначення корозійності оливи.

Практичне заняття №5

ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШОРСТКОСТІ

ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ

Мета заняття – набуття навиків, щодо визначення параметрів шорсткості поверхні деталі за допомогою профілограми.

Шорсткість поверхні – сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками на базовій довжині. Шорсткість умовно обмежена границями вимірів середніх кроків нерівностей S_m від 0,02 до 12,5 мм найбільших висот нерівностей профіля R_{max} від 0,025 до 1600 мкм.

Кількісно шорсткість можна оцінити за тими чи іншими показниками.

ГОСТом 2789 – 73 передбачено шість параметрів, які характеризують шорсткість поверхні:

- середнє арифметичне відхилення профілю R_a ;

- висота нерівностей профіля по десяти точках R_z – представляє собою суму середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профіля і глибин п'яти найбільших западин профіля в межах базової довжини;
- найбільша висота нерівностей профілю R_{max} – відстань між лінією виступів і лінією западин у межах базової довжини;
- середній крок нерівностей профілю S_m – середнє арифметичне значення довжин відрізків середньої лінії рівних відстані між двома сусідніми пересіченнями її із середньою лінією в межах базової довжини;
- середній крок нерівностей по вершинах S рівний середній арифметичній довжині відрізків середньої лінії, які рівні відстані між проекціями на двох найвищих точок сусідніх виступів профіля;
- відносна опорна довжина профілю t_p , яка дорівнює відношенню суми довжин відрізків, що відсікаються на заданому рівні p , у матеріалі виступів лінією, еквідистантною середній, до базової довжини.

Параметри шорсткості впливають на експлуатаційні властивості деталей машин.

Процес тертя в значній мірі визначає зносостійкість контактуючих деталей.

Зносостійкість характеризується здатністю поверхневих шарів деталей опиратися руйнуванню при терті ковзання, терті кочення, а також при мікропереміщеннях, обумовлених дії вібрації (фреттинг-процес).

Знос деталей машин призводить до втрати точності, зниженню ККД, зниженню міцності, збільшенню динамічних навантажень, які являються наслідком збільшення зазорів у спряженнях, підвищенню шуму. Знос є причиною виходу з ладу переважної більшості машин (до 80%) і їх деталей.

Згідно теорії І.В. Крагельського інтенсивність зношування деталей розраховується за формулою:

$$I_h = \frac{\chi}{n\lambda} \sqrt{\frac{h}{\rho}} \frac{A_r}{A},$$

де n – число циклів дії, яка призводить до руйнування матеріалу; h – зближення нерівностей; ρ – радіус нерівностей; A_r – фактична площа контакту; A – номінальна площа контакту.

Коефіцієнт λ визначаємо з рівності:

$$\lambda = \left(\frac{\sigma_\epsilon - \sigma_r}{\sigma_a} \right)$$

де σ_ϵ – тимчасовий опір руйнуванню; σ_a – діюча величина амплітудного напруження в робочому шарі; σ_r – поверхневі залишкові напруження, які приводять до відповідних змін даного числа циклів; t_y – параметр фрикційного втомлення при пружному контакті.

$$\chi = \frac{1}{2(\nu+1)} \sqrt{\frac{\nu}{2\alpha}},$$

α – коефіцієнт, який враховує відмінності площі перерізу виступів на рівні ρ від величини фактичної площі контакту на тому ж рівні $\alpha=1$; ν – параметр відносної опорної кривої.

Таблиця 10 – Взаємозв’язок експлуатаційних властивостей деталей машин з параметрами шорсткості їх поверхонь.

№ п/п	Властивості	R_p	R_a	R_z	R_{max}	S_m	t_p
1	Зносостійкість	+	+	(+)	(+)	+	+
2	Втомна міцність	+	(+)	(+)	+	(+)	-
3	Контактна жорсткість	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+
4	Коефіцієнт тертя	+	+	+	+	(+)	+

- “+” – основний вплив;
- (+) – обмежений вплив;
- “-” – відсутність впливу.

Коефіцієнт тертя визначає здатність поверхневих шарів деталей опиратися взаємному переміщенню при дії тангенційних навантажень. Він впливає на ККД машин, надійність роботи фрикційних пар і міцність посадок з натягом.

Шорсткість поверхні тертя має значний вплив на коефіцієнт тертя. Так, зміна шорсткості у 30 разів призводить до зміни коефіцієнта тертя у 2 рази, у той же час зміна умов тертя в 100 разів призводить до зміни коефіцієнта тертя у 1,6 раза. Зменшення шорсткості у всьому діапазоні зміни швидкості ковзання і навантаження приводить до зниження коефіцієнта тертя.

Характеристика приладу для вимірювання параметрів шорсткості поверхні. Профілограф-профілометр блокової конструкції (рис.5) є високочутливим вимірювальним приладом для визначення шорсткості і хвилястості поверхні виробів зі сталі, чавуну, кольорових металів і сплавів, а також неметалевих деталей і всіляких покриттів без ушкодження їх поверхні.

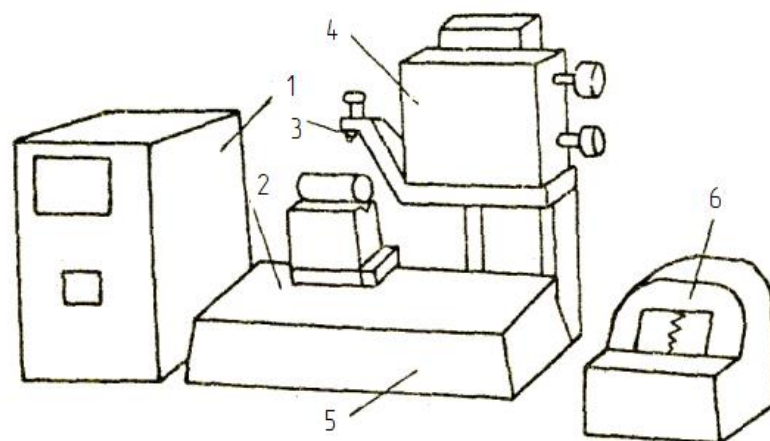


Рис.5. Загальний вигляд профілографа-профілометра моделі 201

Визначення шорсткості поверхні проводиться за допомогою:

- запису у збільшеному масштабі електротермічним способом на електротермічному папері в прямокутних координатах профілю мікронерівностей поверхні в межах від 5 до 14 клас включно;

- стрілочного приладу по параметру R_a (середнє арифметичне відхилення мікронерівностей від середньої лінії профілю) у межах від 5 до 12 клас включно.

Прилад дозволяє зробити перевірку плоских, циліндричних, конічних і інших поверхонь, як зовнішніх, так і внутрішніх, перетин яких у площині виміру представляє прямий зв'язок.

Прилад дає можливість робити вимір з різними величинами базової довжини, тобто з відсіченням нерівностей з кроком більше встановлених базових довжин 0,08; 0,25; 0,8 і 2,5 мм при довжині виміру 1,6; 3,2 і 6 мм.

Технічна характеристика приладу:

1. Критерій оцінки – R_a ГОСТ 2789-59.
2. Похибка показань по приладу, що показує $\pm 10\%$.
3. Похибка вертикального збільшення $\pm 4\%$.
4. Вертикальне збільшення 1000; 2000; 4000; 10000; 20000; 40000; 100000 і 200000 $\times$.
5. Горизонтальне збільшення від 2 до 4000 $\times$ (18 ступінів).
6. Зусилля голки, що ощупує, не більш 0,1 гс.
7. Градієнт зусилля не більш 0,0005 гс/мк.
8. Запис – електротермічна у прямокутній системі координат.
9. Ширина запису – 80 мм.
10. Найбільша довжина траси – 40 мм.
11. Довжина ділянки виміру для приладу, що показує, 1,6; 3,2; 6,0 мм.
12. Величина базових довжин: 0,08; 0,25; 0,8 і 2,5 мм (крок відсічення).
13. Швидкість трасування профілографа – 0,2; 1,0 і 10 мм/хв.
14. Швидкість трасування профілометра – 0,7 мм/сек.
15. Найбільший діаметр отвору, що перевіряється:
 - а) при глибині до 10 мм – 8 мм;
 - б) при глибині до 100 мм – 20 мм;
 - в) при глибині до 125 мм – 45 мм;

г) при виміру з пристосуванням для перевірки хвилястості при глибині до 10 мм – 4 мм.

16.Радіус голки, що обмацує, $0,002^{+0,002}$ або $0,01^{+0,002}$ мм.

17.Радіус опори (опора змінна): $R_1=50$ мм; $R_1=\infty$.

18.Вага приладу – 80 кг.

19.Прилад живиться від мережі змінного струму 50 Гц і 220 В.

Принцип дії приладу. Дія приладу заснована на принципі обмацування досліджуваної поверхні алмазною голкою і перетворення коливань голки в зміни напруги індуктивним методом.

На рис.6 представлена блок-схема приладу. Електрична схема приладу містить у собі датчик, електричний блок 7, прилад, що показує 8 і записує 9. Координатна система датчика складається з подвійного III – образного сердечника 4 із двома котушками 3. Котушка датчика і половини первинної обмотки диференціального входного трансформатора 6 утворюють балансний міст, живлення якого здійснюється від генератора звукової частоти 5. При переміщенні датчика щодо досліджуваної поверхні алмазна голка 1, обмацуючи нерівності поверхні, робить коливання, що приводить у коливальний рух якоря 2. Коливання якоря змінюють повітряні зазори між якорем і сердечником і, тим самим, викликають зміни напруги на виході диференціального трансформатора. Отримані зміни напруги підсилюються електронним блоком, на вихід якого підключаються записуючий або показуючий прилади.

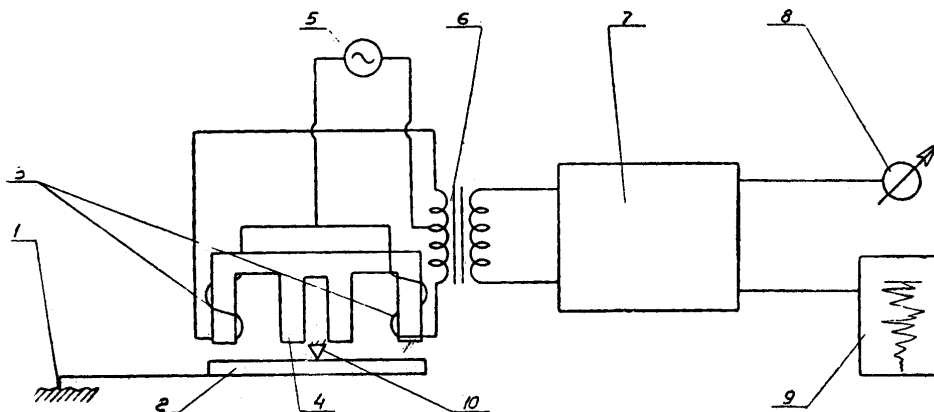


Рис.6. Блок-схема приладу.

Визначення характеристик мікрогеометрії поверхонь тертя.

Обчислення характеристик мікрогеометрії, які визначають контактну взаємодію твердих тіл при терті, зводиться до визначення відносної контурної площі контакту η_c , а потім – за профілограмами і опорною кривою $t_p(\varepsilon)$ шорсткості – параметрів b , v , R , R_{max} .

Для визначення вказаних характеристик використовуються допоміжні параметри: H_{ec} – найбільша висота виступу профілю – відстань між лінією виступів і середньою лінією в межах базової довжини; n^* – число перетинів профілю із середньою лінією, які припадають на одиницю довжини вимірюваної ділянки; m^* – число максимумів профілю на одиницю довжини; R_a – середнє арифметичне відхилення профілю від середньої лінії; R_q – середнє квадратичне відхилення профілю від середньої лінії.

Для побудови опорної кривої і визначення параметрів n^* і m^* існують прилади, які дозволяють отримувати дані безпосередньо, без запису профілограм. У споживачів ці прилади знаходяться в обмеженій кількості, тому дана методика базується на обробці профілограм.

Першим етапом при визначенні характеристик мікрогеометрії є реєстрація хвилястості і оцінка відносної контурної площі контакту η_c . При цьому знімають поперечну хвилеграму за допомогою спеціального пристосування, яке є в профілограмах – профілометрах.

Відносну площу контакту визначають за формулою

$$\eta_c = K_B \left(\mathcal{G} \cdot q_a \sqrt{\frac{R_w}{H_w}} \right)^{z_B},$$

де K_B і z_B – коефіцієнти, що характеризують розподіл хвиль за висотою.

Для регулярної хвилястості можна приймати $K_B = 2,4$; $z_B = 0,8$, а для нерегулярної $K_B = 3,0$; і $z_B = 0,85$; H_w і R_w – відповідно середня висота і розрахунковий радіус хвилі, які визначаються по хвилеграмах. Методика їх оцінки така ж, що приведена нижче для аналогічних параметрів шорсткості R_{max} і R .

Другим етапом є визначення параметрів шорсткості. Попередньо необхідно виключити з профілю хвилястість і відхилення форми. З цією метою вибирають належну базову довжину l , яка є кроковою межею між хвилястістю і шорсткістю. Базова довжина фактично визначається параметрами пристосування, що використовується для запису хвилеграми. Максимальні по кроку нерівності шорсткості (нерівності з кроком, що рівний базовій довжині l), повинні пропускатися пристосуванням для запису хвилястості (чи відповідним фільтром, який використовується для виділення хвилястості) з послабленням за амплітудою (висоті нерівностей) не менше чим на 25 %.

Виходячи із вказаної умови, базова довжина l в залежності від R_a і R_z повинна вибиратися у відповідності з таблицею 11.

Для побудови опорної кривої і визначення параметрів b і v профілограми знімають у представленому відносно поверхні напрямку з максимальним значенням R_a при вибраній базовій довжині.

Для визначення радіусу кривизни вершин нерівностей профілограми знімають у двох взаємно перпендикулярних напрямках, один з яких співпадає з представленим напрямком профілю.

Таблиця 11 – Значення базової довжини.

l , мм	R_a , мкм	R_z , мкм
0,03	0,02	0,1
0,08	0,02 – 0,2	0,1 – 1
0,25	0,2 – 2	1 – 8
0,8	2 – 20	8 – 80
2,5	20	80

При виборі вертикального збільшення запису профілограми виходять із можливості найбільш повного використання ширини діаграмного паперу. Вибір горизонтального збільшення обумовлюється забезпеченням чіткого запису окремих нерівностей профілю. Кут нахилу бічних сторін характерних нерівностей профіль ϕ повинен бути не більше $75 - 80^\circ$ (рис. 7).

На знятих з досліджуваних поверхонь профілограмах вибирають ділянки довжиною l . Таких ділянок повинно бути не менше п'яти.

На кожній ділянці будують середню лінію профілю з використанням методу середніх. Для цього від горизонтальної лінії, проведеної нижче самої глибокої западини профілю, заміряють ординати профілю y_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) через інтервал $\Delta x = 2$ мм.

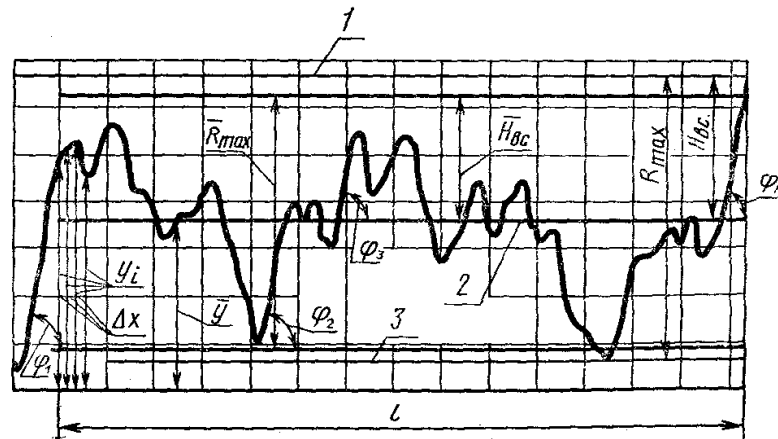


Рис. 7. Визначення висотних параметрів R_{max} і H_{vc} :

1 – лінія виступів; 2 – середня лінія профілю; 3 – лінія впадин.

Отримане значення y_i розбивають на дві рівні групи, що відповідають першій ($i = 1, 2, \dots n/2$) і другій ($i = n/2; n/2+1; \dots n$) половині профілограми. Середню лінію проводять через дві точки з координатами (x'', y'') , що дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{x_1 + x_{n/2}}{2}; y' = \frac{2 \sum_{i=1}^{n/2} y_i}{n} \\ x'' &= \frac{x_{n/2+1} + x_n}{2}; y'' = \frac{2 \sum_{i=n/2+1}^n y_i}{n} \end{aligned} \right\}$$

На кожній ділянці профілограми, рівній базовій довжині, заміряють відстань R_{max} від середньої лінії до вершини найбільшого виступу і R_{min} до дна найбільш глибокої западини. Потім обчислюють величину $H_{vc} = R_{max} + R_{min}$ і підраховують середнє значення

$$\bar{R}_{max} = \frac{\sum_1^k R_{max_{ui}}}{\gamma_B \cdot k} \text{ і } \bar{H}_{BC} = \frac{\sum_1^k H_{BC_{ui}}}{\gamma_B \cdot k}$$

де k – число ділянок вимірювань; γ_B – масштаб вертикального збільшення профілограми.

Далі на кожній ділянці профілограми проводять дві лінії, паралельні середній лінії профілю. Першу – лінію виступів – на рівні $\bar{H}_{BC}$. Від лінії виступів проводять відлік зближення. Другу лінію – лінію западин проводять на відстані $\bar{R}_{max}$ від лінії $\bar{H}_{BC}$.

Число n^* перетинань профілем середньої лінії, яке припадає на одиницю її довжини, обчислюють за формулою

$$n^* = \frac{\gamma_r N^*}{L},$$

де N^* – число перетинань профілем середньої лінії на всіх ділянках;

L – сумарна довжина усіх оброблених ділянок профілограми, мм;

γ_r – масштаб горизонтального збільшення.

Число максимумів на одиницю довжини m^* обчислюють за формулою

$$m^* = \frac{\gamma_r M^*}{L} = \frac{\gamma_r N^*}{kl},$$

де M^* – число максимумів на всіх ділянках. За максимум рахують локальний виступ профілю, висота якого від ближньої западини не менша $0,05 \bar{R}_{max}$.

Опорну криву будують як середню для всіх ділянок. На кожну ділянку профілограми у межах $\bar{R}_{max}$ наносять лінії перерізів, які паралельні лінії виступів, з інтервалом 1 мм, починаючи від рівня $\bar{H}_{BC}$.

Для розрахунку на знос часто буває достатньо проводити перерізи не по всьому діапазону $\bar{R}_{max}$, а лише до рівня середньої лінії профілю.

У кожному перерізі, розташованому на відстані p від лінії $\bar{H}_{BC}$ визначають загальну довжину відрізків Δl_{p1} ; Δl_{p2} , ... Δl_{pk} , які відсікаються профілем досліджуваної поверхні від лінії даного рівня $\eta_p = \sum_{i=1}^k \Delta l_{pi}$ (рис. 8). За

результатами цих вимірювань отримують таблицю парних значень (η_{pi}, p_i) , яка виражає залежність опорної довжини профілю від рівня перерізу.

Всі вимірювання виконують в міліметрах профілограми без врахування збільшення. Для проведення розрахунків переходять до відносних величин:

$$\varepsilon = \frac{P}{R_{\max}}; \quad t_p = \frac{\eta_p}{L}.$$

При побудові відносної опорної кривої профілю по вісі абсцис відкладають t_p , а по вісі ординат ε .

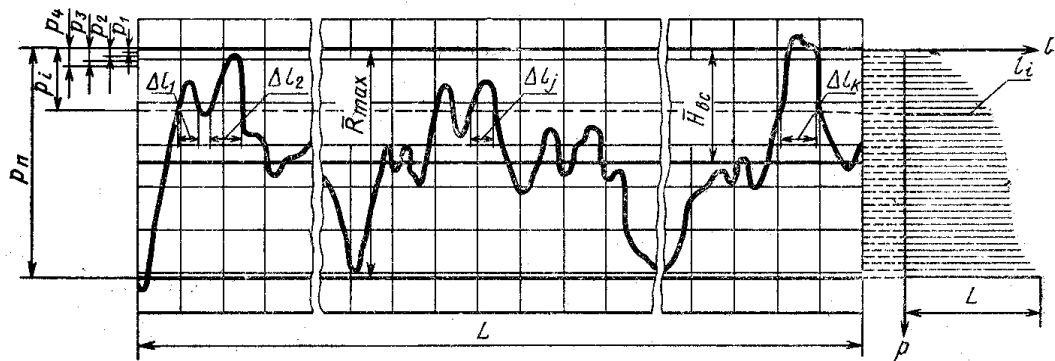


Рис. 8. Побудова опорної кривої профілю шорсткості поверхні.

Потім визначають параметри степенної апроксимації b і ν .

Початкова частина опорної кривої описується формулою

$$t_p = b\varepsilon^\nu, \quad (\varepsilon_p \leq \varepsilon \leq 0),$$

де $t_p = \frac{A_s}{A_c} = \frac{l}{L}$ - відношення опорної площі A_s до контуру A_c ;

ε_p - рівень зближення, який відповідає значенню $t_p \leq 0,5$ до якого виконується апроксимація.

Параметри апроксимації початкової частини опорної кривої визначають методом обраних точок, які взяті для деяких двох значень зближень ε_1 і ε_2 , за формулами:

$$\nu = \frac{\lg \frac{t_{p2}}{t_{p1}}}{\lg \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} = \frac{\lg \frac{l_2}{l_1}}{\lg \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}},$$

$$\lg b = \lg t_{p1} - \nu \lg \varepsilon_1$$

В якості оцінок для параметрів степенної апроксимації приймають середнє значення із трьох, отриманих по різних перерізах опорної кривої. Рекомендується визначати параметри b і ν при наступних трьох парах зближення:

$$\varepsilon_1=0,1 \text{ і } \varepsilon_2=0,2; \varepsilon_1=0,1 \text{ і } \varepsilon_2=0,3; \varepsilon_1=0,2 \text{ і } \varepsilon_2=0,3;$$

або

$$\varepsilon_1=0,05 \text{ і } \varepsilon_2=0,1; \varepsilon_1=0,05 \text{ і } \varepsilon_2=0,2; \varepsilon_1=0,1 \text{ і } \varepsilon_2=0,2.$$

Першу групу зближення слід застосовувати, якщо при $\varepsilon=0,3$ $t_p < 0,5$.

Другу групу – якщо при $\varepsilon=0,3$ $t_p \geq 0,5$.

Радіус кривизни вершин нерівностей визначають по профілограмах, які зняті в двох взаємно перпендикулярних напрямках. На всіх ділянках профілограм вимірюють вершини нерівностей, які лежать вище рівня $\varepsilon=0,1\dots 0,3$. для цього на відстані $h = 0,05R_{\max}$, заміряють довжину хорди d (рис. 9). При дрібному числі останнє округлюють до значення ближнього цілого.

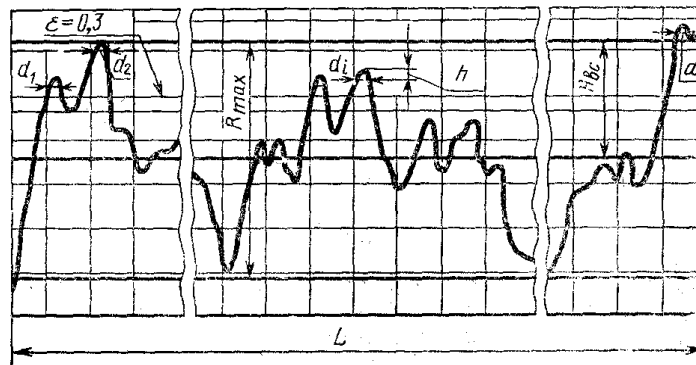


Рис. 9. Визначення радіусів кривини вершин мікро нерівностей.

Потім підраховують радіус кривини одиничної нерівності профілю R_i , мкм, за формулою

$$R_i = \frac{d_i^2}{8h} \cdot \frac{\gamma_B}{\gamma_\Gamma^2} \cdot 10^3,$$

де d_i – довжина хорди, мм; γ_B , γ_Γ – відповідно вертикальне і горизонтальне збільшення при запису профілограм.

Визначають середній радіус нерівностей профілю даного напрямку за формулою

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k},$$

де k – загальне число вимірюваних нерівностей.

Розрахункове значення радіусу R визначають як середнє геометричне середніх значень радіусів для профілів двох взаємно перпендикулярних напрямків

$$R = \sqrt{\bar{R}_{np} \cdot \bar{R}_{non}}.$$

Довжину хорди d на профілограмах, які зняті в обох напрямках, вимірюють на однаковій відстані від вершини (з врахуванням вертикального збільшення).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з конструкцією та принципом роботи профілографа-профілометра.
2. Отримавши від профілограми, визначити параметри шорсткості поверхні.
3. Побудувати опорну криву профілю поверхні.

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Розрахунок параметрів шорсткості.

Контрольні запитання

1. Конструкція та принцип дії профілографа-профілометра.
2. Параметри шорсткості поверхні.
3. Методика визначення параметрів шорсткості поверхні.

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ МЕХАНІЧНИХ ДОМІШОК

Мета заняття – ознайомлення з методами визначення вмісту механічних домішок.

Вміст в оливах сторонніх, в основному мінеральних, речовин називають механічними домішками.

За стандартом вміст механічних домішок у моторних оливах повинен бути не вище 0,015 %.

Найбільш небезпечні механічні домішки в оливах – пісок та інші тверді частки, що викликають абразивний знос деталей двигунів внутрішнього згоряння.

Механічні домішки заносяться при переробці нафти (глина, пісок, мінеральні солі), при очищенні масляних дистилатів (дрібні частки вибілюючої глини, мінеральні солі) і при збереженні, транспортуванні і заправленні машин (головним чином пісок і глина).

Механічні домішки можуть бути виявлені найпростішими способами (якісно): оглядом зразка на прозорість, пробою на скло, на фільтрувальний папір, при відстоюванні.

Усі стандартні методи визначення механічних домішок у нафтопродуктах, у тому числі й у моторних оливах, - кількісні, засновані на ваговому аналізі. Методи кількісного визначення механічних домішок засновані на властивості вуглеводній частині нафтопродуктів повністю розчинятися в органічних розчинниках. Залишок, що не розчинився в розчинниках і затримується фільтром, підтверджує наявність у цьому розчині механічних домішок.

Вміст механічних домішок у моторних оливах для автотракторних дизелів і карбюраторних двигунів визначають лабораторним методом.

Сутність методу полягає у фільтруванні бензинового або толуольного розчину навіски випробуваного оливи, промиванні осаду на фільтрі

розчинником, наступному висушуванню і визначенні масової частки механічних домішок.

Нижче розглянуто декілька способів визначення вмісту механічних домішок.

Перший спосіб. Пробу випробуваної оливи 5 хв. ретельно перемішують у ємності, заповненій не більше ніж на $3/4$ її об'єму. Потім беруть навіску і поміщають у склянку місткістю 600 чи 1000 см³. Маса навіски оливи залежить від в'язкості нафтопродукту і вмісту в ньому механічних домішок. Для оливи з в'язкістю при 100 °С не більш 20 мм²/с маса навіски (100±0,05) м, при в'язкості більш 20 мм²/с - (50± ±0,01) г.

Потім у склянку з навіскою оливи додають попередньо профільтрований і підігрітий розчинник. Як розчинник використовують бензин чи толуол (для оливи з присадками і підвищеним лужним числом). Кількість розчинника чи кратність розчинення навіски оливи також залежить від в'язкості оливи: при $v_{100} \leq 20$ мм²/с відношення об'єму розчинника до маси навіски від 2 до 4 і при $v_{100} \geq 20$ мм²/с – від 4 до 6.

Розчин оливи ретельно перемішують у склянці скляною паличкою і фільтрують через попередньо підготовлений фільтр «Червона стрічка».

Підготовка фільтра полягає в промиванні його тим же розчинником, яким розчиняють навіску, висушуванні його при температурі 105...110°С і доведенні до постійної маси. Стаканчик з фільтром після кожної витримки в сушильній шафі (перша протягом 45 хв., наступна не більше 30 хв.) закривають кришкою, охолоджують у ексікаторі і зважують з похибкою не більш 0,0002 г. Сушать фільтр доти, поки між двома послідовними зважуваннями розбіжність буде не більш 0,0004 г. Потім цей фільтр поміщають у лійку, закріплену в штативі над колбою і обережно наливають розчин оливи по скляній паличці на $3/4$ висоти фільтра. Залишки розчину і механічні домішки зі стінок склянки змивають гарячим чистим розчинником також у лійку.

Якщо в оливі присутня вода, то розчин випробуваного оливи спочатку відстоюють протягом 10...20 хв., після чого зливають, залишаючи відстій. Після

фільтрації розчину відстій розбавляють 5:1...15:1 (по об'єму) кількістю спиртоєфірної суміші і фільтрують через той же фільтр. У лійку кожену нову порцію розчину наливають після того, як попередня витекла досить повно.

Після фільтрації розчину осад на фільтрі промивають за допомогою промивної склянки з гумовою грушею підігрітого розчинником доти, поки стікаючий розчинник не стане зовсім безбарвним, а на фільтрі не залишиться слідів оливи.

Після промивання фільтр з осадом поміщають у той же стаканчик для зважування, у якому сушився чистий фільтр, ставлять у сушильну шафу і сушать не менш 1 г при температурі 105 ± 2 °С. Потім стаканчик виймають із сушильної шафи, закривають кришкою і переносять на 30 хв для охолодження в ексікатор, після чого його зважують з похибкою не більш 0,0002 г. Якщо вміст механічних домішок не перевищує норми, припустимої ГОСТом на оливу, фільтр до постійної маси не доводять.

Масову частку X (%) механічних домішок обчислюють за формулою

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100,$$

де m_1 – маса стаканчика для зважування з фільтром і механічними домішками, г; m_2 – маса стаканчика для зважування з чистим фільтром, г; m – маса навіски випробуваної оливи, г.

За результат випробувань приймають середнє арифметичне двох паралельних визначень. Якщо масова частка механічних домішок менша 0,005%, то вважають, що вони відсутні.

При визначенні вмісту механічних домішок у повільно фільтрованих оливах (наприклад, відпрацьованих) фільтрувати розчин навіски випробуваної оливи і промивати залишок на фільтрі можна під вакуумом. Для цього лійку гарячого фільтрування через гумову пробку приєднують до спеціальної колби, яка з'єднана з вакуумним насосом. При такому фільтруванні не можна допускати, щоб розчин скипав. Описаний спосіб визначення вмісту механічних домішок має ряд недоліків. По-перше, він не дозволяє визначити всі механічні домішки в нафтопродукті, тому що частина їх розміром менш 5...6 мк

проходить через пори паперових фільтрів. По-друге, на доведення фільтрів до постійної ваги, фільтрацію розчину і промивання осаду витрачається значний час і велика кількість розчинників. Ці недоліки особливо помітні при аналізі проб відпрацьованих олив. У цих оливах міститься велика кількість з розмірами 1...3 мк, що вільно проходять через пори паперових фільтрів.

Другий спосіб. Сутність його полягає у фільтрації розчину випробуваного оливи під вакуумом, але через спеціальні мембранні (нітроцелюлозні) фільтри, щільність яких оцінюється водопроникністю. Найбільш придатні для нафтопродуктів фільтри з водопроникністю від 3 до 6 хв. Ці фільтри затримують механічні домішки з розмірами часток більш 1 мк.

Розчин проби випробуваної оливи готують за методикою, описаної вище.

Мембранний фільтр поміщають у стаканчик для зважування і сушать його протягом 30 хв. при температурі 100...102 °С, після чого стаканчик охолоджують із закритою кришкою в ексикаторі і зважують на аналітичних вагах з похибкою не більше 0,0002 г.

Фільтр поміщають між двома кільцевими картонними прокладками поверх латунної сітки в розбірну лійку, яку за допомогою гумової пробки закріплюють у горловині колби для вакуумного фільтрування. Колбу шлангом з'єднують з вакуумним насосом.

Створивши попередньо невелике розрідження в колбі, вливають у лійку розчин оливи і повільно фільтрують. Потім вакуум поступово збільшують і доводять до 0,0266...0,0333 МПа.

По закінченні фільтрування розчину осад на фільтрі ретельно промивають розчинником і після цього розбирають лійку. Фільтр з осадом поміщають у стаканчику в сушильну шафу, сушать при температурі 100... 103 °С на протязі 20...25 хв, потім охолоджують у ексикаторі до кімнатної температури і зважують.

Масову частку X механічних домішок обчислюють за формулою

$$X = \frac{m_o}{m_3} \cdot 100$$

де m_o і m_3 – маси осаду і навіски випробуваної оливи, г.

За результат випробувань приймають середнє арифметичне двох паралельних визначень.

Обидва способи дозволяють визначити масову частку механічних домішок, що містяться в моторних оливах, не дають можливості розділити їх за розмірами на окремі фракції.

Третій спосіб. Для визначення масової частки механічних домішок у випробуваній оливі з одночасним поділом їх на фракції використовують фільтрувальний стовпчик.

У стовпчик встановлюють попередньо доведені до постійної маси мембранні фільтри, що розрізняються розмірами отворів, і крізь них фільтрують розчин випробуваної оливи.

По закінченні фільтрування осади на фільтрах промивають розчинником до повного видалення оливи. Фільтри виймають зі стовпчика, поміщають у бюкси, висушують при температурі $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ на протязі 20...25 хв, після чого охолоджують у ексикаторі і зважують.

Масову частку окремих фракцій (за розміром) механічних домішок, що містяться в оливах, обчислюють по різниці мас зважувань кожного фільтра (у бюксах) до і після фільтрування.

Загальна кількість механічних домішок, що містяться в пробі досліджуваної оливи, дорівнює сумі мас окремих фракцій механічних домішок.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з методами визначення вмісту механічних домішок.
2. Вивчити обладнання, що застосовується при визначення вмісту механічних домішок.
3. За вихідними даними викладача розрахувати масову частку механічних домішок.

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Результати розрахунків.
3. Висновок.

Контрольні запитання

1. Методи визначення механічних домішок у оливах. Переваги та недоліки.
2. Устаткування, що застосовується при визначенні механічних домішок в оливах.

Список рекомендованої літератури

1. Тарельник В.Б. Триботехнологія деталей машин : Навч. посібник / В.Б. Тарельник, Є.В. Коноплянченко, В.С. Марцинковський // – Суми: Видавництво «МакДен», 2010 – 264 с.
2. Дмитриченко М.Ф. Триботехніка та основи надійності машин / М.Ф. Дмитриченко, Р.Г. Мнацаканов, О.О. Мікосянчик // – К.: Інформавтодор, 2006 – 216 с.
3. Основи трибології: Підручник / А.М. Антипенко, О.М. Бєлас, В.А. Войтов та ін.// – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 342 с.
4. Закалов О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навч. посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов // – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 322 с.
5. Максименко О.П. Основи трибології: Навч. посібник / О.П. Максименко, О.Є. Лейко // – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2005. – 192 с.
6. Чернець М.В. Дослідження механізмів та триботехнічних систем / М.В. Чернець, Ю.Ю. Скварок, М. Опеляк, Б.І. Кіндрацький// – Дрогобич: Коло, 2003. – 440 с.
7. Кондрачук М.В. Трибологія / М.В. Кондрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут// – К.: Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. – 232 с.
8. Shepelenko, I., Posviatenko, E., Nemyrovskiy, Y., Cherkun, V., & Rybak, I. (2022). Creation of new technological methods for surface engineering based on broaching. *Problems of Tribology*, 27(2/104), 6–12. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-104-2-6-12>.
9. Shepelenko, I. (2021). Technological factors influence on the antifriction coatings quality. *Problems of Tribology*, 26(2/100), 50–57. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-100-2-50-57>.

Навчально-методичне видання

ТЕРТЯ, ЗМАЩЕННЯ ТА СПРАЦЮВАННЯ В МАШИНАХ

Методичні вказівки
до виконання практичних занять
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

Укладачі: І.В. Шепеленко,
М.В. Красота,
Р.А. Осін

Комп'ютерний набір та верстка: Р.А. Осін

РВЛ ЦНТУ, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.