

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний
(повне найменування інституту, назва факультету)
Металургійський факультет та інструмент
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Розробка способу на пристрою для
випробовування шийного м'ясу бандитських
ножиць робочих моментів лезів ТТД

Виконав: студент 6 курсу, групи М-213м
спеціальності (напряму підготовки)

Металургійський факультет та інст.
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

133 Ташуве машинобудування

Гузак В. І.
(прізвище та ініціали)

Керівник Звизько А. І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Цирик В. В.
(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет машинобудівний
 Кафедра матеріальних верстатів та інструменти
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність 133 Технологічне машинобудування
 (код і назва)
 Напрямок підготовки Матеріальні верстати та системи
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М.В. Фролов

" 10 " листопада 20 18 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Луцань Володимирів
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка способу та пристрою для виширковання лінійного змосу бандажних колісних робочих колісних парків ТТД
 керівник проекту (роботи) Звилько І.В. д.т.н. технічних наук, професор
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "04" листопада 2018 року № 340

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 06.12.18

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Робоче креслення колісних парків, їх з'єднання, колісних парків з масовими кресленнями, кресленнями робочих колісних парків системи електричної (мотор)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Літературний огляд та постановка завдань досліджень 2. Конструювання пристрою для виширковання лінійного змосу 3. Матеріал завдання для отримання патенту на спосіб виширковання 4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Зональний вид пристосування (А2), робоча конструкторська креслення (А3) пристосування

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконан завданн
1	Звизинко І.І. доктор техн. наук, проф.	10.09.18	10.09.18
2	Звизинко І.І. доктор техн. наук, проф.	15.10.18	15.10.18
3	Звизинко І.І. доктор техн. наук, проф.	21.10.18	21.10.18
4	Шлирко В.І. к.т.н. доц.	12.11.18	12.11.18
Нормоконтроль	Луцко А.В. ст. вих.	05.12.18	05.12.18

7. Дата видачі завдання 01.09.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим
1.	Літературний огляд існуючих патентів	01.09 - 30.09	
2.	Отримання заявки на отримання патенту на спосіб вишинювання	01.10 - 14.10	
3.	конструювання пристрою для вишинювання лінійного змосу	15.10 - 31.10	
4.	Розробка програми вишинюв. лін. змосу	01.11 - 12.11	
5.	сконструювання та перевірка у імітаційних ситуаціях	12.11 - 4.12	
6.	Отримання графічного матеріалу	20.11 - 23.11	
4.	Отримання звіту	23.11 - 04.12	
8.	Нормоконтроль	05.12	
9.	Резюме	10.12	
10.	Виконання презентації допуску до захисту	10.12 - 12.12	

Студент

В. Луцко (підпис) Луцко В.В. (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Звизинко І.І. (підпис) Звизинко І.І. (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ містить: 116 , 24 рис. , 12 табл.

Завданням магістерської роботи є розробка способу та пристрою для вимірювання лінійного зносу бандажних полиць робочих лопаток турбін. Необхідно вирішити наступні задачі:

- проведено вимірювання та аналіз лінійного зносу бандажних полиць робочих лопаток турбін ГТД;
- розроблено спосіб та пристрій для вимірювання лінійного зносу бандажних полиць робочих лопаток турбін ГТД;
- розроблено конструкцію пристрою для вимірювання бандажних полиць робочих лопаток турбін;
- підготовлено матеріали для заявки на отримання патенту на спосіб вимірювання.

ДЕТАЛЬ, БАНДАЖНА ПОЛКА, ЛОПАТКА, ГТД, СПОСІБ ВИМІРУ, ЛІНІЙНИЙ ЗНОС, ВИНАХІД, ПАТЕНТ, ПРОТОТИП, ДАТЧИК, ДВИГУН, ПОХИБКА, ЗНОС.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
1.1 Аналіз джерел інформації по способам вимірювання лінійного зносу деталей машин.....	
1.2 Аналіз літературних джерел інформації по пристроям для вимірювання лінійного зносу	
1.3 Мета і завдання магістерської роботи	
Висновки до розділу.....	
2 КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОГО ЗНОСУ БАНДАЖНИХ ПОЛИЦЬ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБІНИ ГДТ.....	
2.1 Аналіз розмірної точності робочої лопатки турбіни.....	
2.2 Принципіальна схема пристрою та циклограма вимірювання.....	
2.3 Визначення похибок установки лопатки в пристрої.....	
2.4 Вибір схеми зажиму лопатки в пристрої.....	
2.5 Вибір механізму переміщення з'єднання «Гвинт-гайка».....	
2.6 Вибір крокового двигуна.....	
2.7 Вибір типу індуктивного датчика.....	
2.8 Розробка схеми реєстрації вимірювання.....	
2.9 Розробка програми вимірювання лінійного зносу з використанням пристрою.....	
2.10 Розрахунки деталей на міцність.....	
2.10.1 Розрахунок гвинта.....	
2.10.2 Розрахунок довговічності підшипників.....	
Висновки до розділу.....	
3 МАТЕРІАЛИ ЗАЯВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПАТЕНТУ НА СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ.....	

3.1 Визначення величини лінійного зносу бандажних полиць лопаток турбіни по робочому колесу з урахуванням розсіювання розмірів полиці.....

3.2 Вибір та аналіз аналога.....

3.3 Вибір та аналіз прототипу.....

3.4 Опис способу вимірювання.....

3.5 Формула можливого винаходу.....

Висновки до розділу.....

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек.....

4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....

4.4 Заходи з пожежної системи.....

4.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....

ВИСНОВКИ.....

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....

Додаток А. Програма для виконання вимірювання лінійного зносу робочої лопатки ГТД.....

Додаток Б. Результати виміру правої лопатки.....

Додаток В. Результати виміру лівої лопатки.....

Додаток Д. Розрахунок величини зносу.....

Додаток Ж. Розрахунок величини зносу.....

Додаток К. Розписка про одержання заявки на корисну модель.....

ВСТУП

З розвитком авіадвигунобудування зростають вимоги до надійності, точності ГТД та безпеки польотів літальних апаратів, що виконуються шляхом вдосконалення існуючих досягнень в даній галузі та впровадженням нових технологій, які забезпечують надійність та точність виконання найбільш відповідальних деталей.

До відповідальних деталей ГТД можна віднести робочі лопатки турбіни. В процесі експлуатації вони схильні до дії відцентрових сил, впливу високих температур та зносу, внаслідок дії сил тертя.

Основними поверхнями, що зношуються шляхом тертя – є контактні поверхні бандажних полиць, які служать для розміщення лабіринтного ущільнення радіального зазору над робочою лопаткою. Крім того, бандажна полиця слугує засобом управління вібраційними характеристиками лопаток. Внаслідок вібрацій контактні полки сусідніх лопаток, встановлених в колесі ротора, піддаються зносу шляхом тертя, що приводить до їх взаємного лінійного зносу.

Контроль лінійного зносу робочих лопаток турбін дає змогу забезпечити надійність та безпечність функціонування двигунів в цілому.

Були розглянуті способи та пристрої вимірювання лінійного зносу, що не давали достатньої точності виміру, адже в отриманих даних не враховувався закон розподілу розмірів, що впливало на неточні показники величини зносу. З урахуванням закону, на основі експериментальних даних, було встановлено реальну величину зносу, за рахунок врахування випадкових величин, що підвищить точність визначення ресурсу роботи лопатки.

Матеріали та результати досліджень представлені і доповідалися на тему: «Пристрій для визначення величини зношування бандажних полиць робочих лопаток турбін ГТД» на Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт (ЗНТУ, 2018) та XI Міжнародних молодіжних науково-технічних читаннях ім. О.Ф. Можайського (АТ «Мотор Січ», 2018).

По темі магістерської роботи опубліковано 2 печатні роботи та патент.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз джерел інформації по способам вимірювання лінійного зносу деталей машин

Відомі способи вимірювання лінійного зносу деталей машин, які базуються на прямому вимірюванні універсальними інструментами:

Спосіб визначення по різниці розмірів зносу деталей машин [1]

Відомі способи визначення по різниці вимірів способу зносу деталей машин методом штучних баз з нанесенням подряпин на зношуються поверхні. Ці способи складні і недостатньо точні. Особливість описуваного способу є те, що для визначення зносу деталей машин знімають негативний відбиток за допомогою пластичного матеріалу, наприклад, свинцю, шляхом ударного впливу і виробляють на ньому вимірювання відбитка.

Таке виконання способу дозволяє спростити його і підвищити точність виміру.

На кресленні (рис. 1.1) зображена схема вимірювання величини зносу методом штучних баз з нанесення подряпин на зношену поверхню.

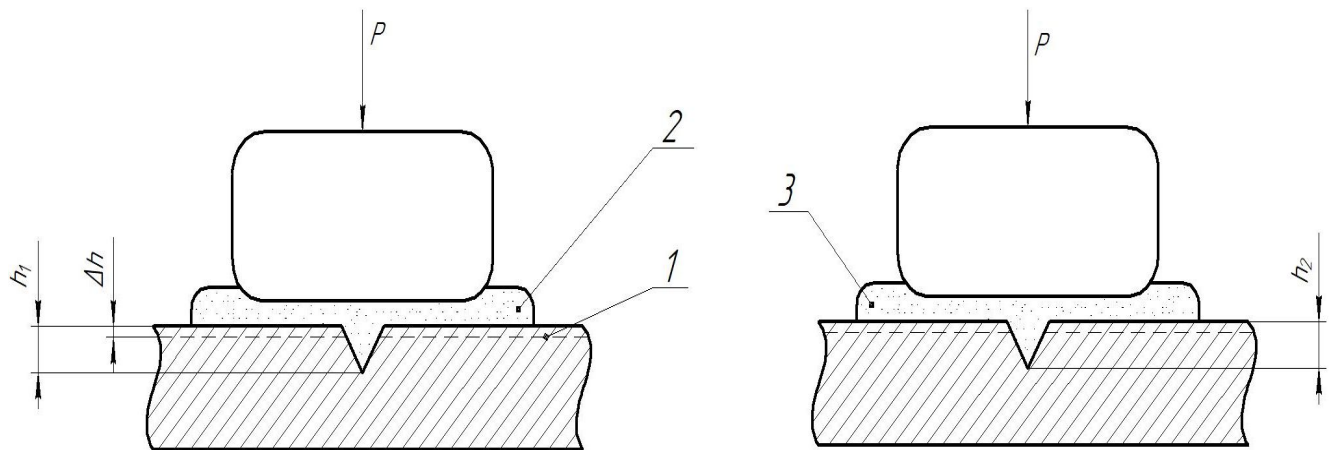


Рисунок 1.1 - Схема вимірювання величини зносу методом штучних баз з нанесення подряпин на зношену поверхню

На поверхні 1 проводиться поглиблення у вигляді подряпин, з якого знімається негативний відбиток 2 за допомогою пластичного матеріалу під впливом сили P і на цьому відбитку вимірюється величина поглиблення h_1 .

Після деякого періоду роботи деталі проводиться вторинний відбиток 3. Потім вимірюється поглиблення h_2 по цьому негативному відбитку.

Різниця двох вимірювань до і після випробування на знос дає лінійну величину зносу деталі (Δh).

Метод відбитків створює впливів розчленувати процес вимірювання зносу на дві частини: зняття відбитків, які не вимагають спеціального устаткування і високої кваліфікації працівників, і вимірювання поглиблення по його відбитку на спеціальному приладі в лабораторії.

Спосіб визначення по різниці вимірів способу зносу деталей машин методом штучних баз з нанесенням подряпин на зношену поверхню, що відрізняється тим, що, з метою підвищення точності виміру, і його спрощення, знімають негативний відбиток, шляхом ударного впливу і виробляють на ньому вимірювання відбитка.

Переваги: при використанні пластичного матеріалу, для зняття відбитку, спосіб спрощується. Недоліки: складний процес вимірювання; низька точність вимірювань; даний спосіб руйнує деталь, за рахунок подряпин на зношуються поверхні.

Спосіб виміру перепаду базових поверхонь [2]

Вивчення конструкції робочого колеса лопаток, умов їх роботи показало, що такою характеристикою може бути величина перепаду базових поверхонь «В» щодо «М» (рис. 1.2) лівої (E_L) і правої (E_P) лопаток.

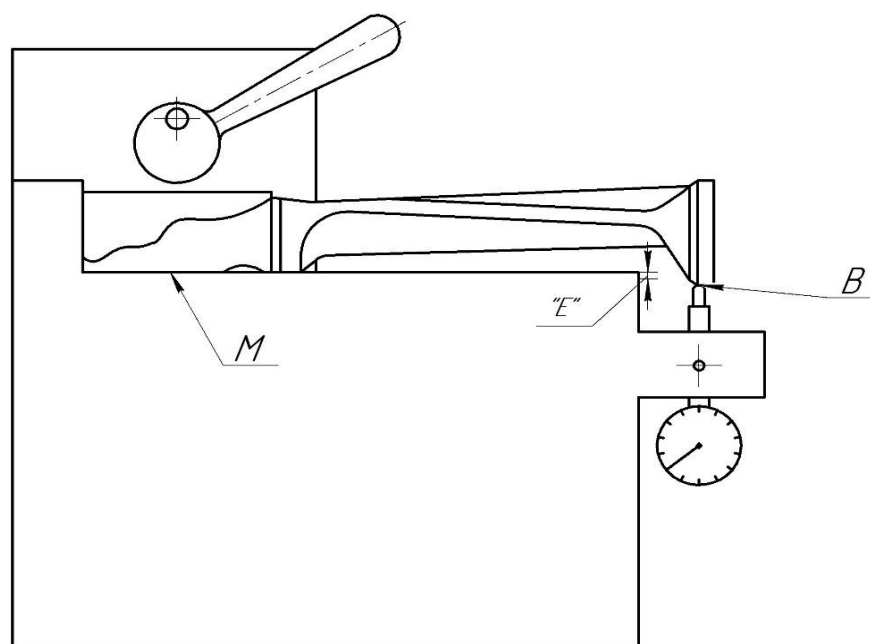


Рисунок 1.2 - Схема вимірювання перепаду базових поверхонь «В» щодо «М»

Статистична перевірка зв'язку між натягом і величиною показала, що між ними є кореляція з великим ступенем надійності. Це дозволило рекомендувати в якості додаткової умови збірки співвідношення (1.1):

$$H = (E_{\text{л}} + E_{\text{п}})/2 \quad (1.1)$$

Для визначення величини перепаду базових поверхонь необхідно ввести операцію контролю перепаду $E_{\text{л}}$ і $E_{\text{п}}$ за схемою. Після визначення $E_{\text{л}}$ і $E_{\text{п}}$ необхідно підібрати пари за умовою (1.2):

$$Q < \frac{E_{\text{л}} + E_{\text{п}}}{2} \leq 0,45 \quad (1.2)$$

Статистичний аналіз перепаду базових поверхонь лівих і правих лопаток показує, що подібна селекція може бути виконана в межах 1-го комплекту лопаток. Для цього необхідно діапазони $E_{\text{л}}$ і $E_{\text{п}}$ розбити на 3 інтервали, а пари комплектувати, виходячи з вищенаведеної умови.

Після вдосконалення збірки послідовність операцій буде наступною: перевірка по частотним характеристикам, визначення вагового моменту лопатки, вимір перепадів $E_{\text{л}}$ і $E_{\text{п}}$, селекція по натягу, селекція за ваговим моментом пари.

Переваги: дешевизна методу; простота. Недоліки: неточність розрахунків за рахунок різниці баз, похибки закріплення.

Вимір виробітку бандажних полок робочих лопаток ГТД [2]

Особливістю розглянутих лопаток є їх попарне розміщення в пазах диска. Зіткнення лопаток відбувається по бічних поверхнях бандажних полиць з боку базової площини. В процесі експлуатації в результаті дії комплексу навантажень контактуючі поверхні бандажних полиць зношуються. Знос полиць по робочому колесу характеризується великою нерівномірністю, яка визначається комплексом

умов навантаження і конструктивно-технологічними особливостями виготовлення і збірки колеса. Оскільки процес зношування залежить від великої кількості факторів, які важко врахувати і характеризуються випадковими значеннями, то показники, що характеризують цей процес, вивчалися статистичними і ймовірнісними методами. При цьому в якості таких характеристик розглядалися математичне очікування і середньоквадратичне відхилення значень лінійного зносу полиць. Досліджувалися полки робочої лопатки турбіни одного типу авіаційного двигуна з різним напрацюванням в експлуатації. Розглядалися лопатки, виготовлені, як за серійною технологією, так і відновлені методом наплавлення. Вимірювання виробітки починали від нижньої межі допуску ширини бандажної полиці (рис.1.2).

Величина лінійного зносу визначалася з вираження (1.3):

$$h_{\text{л}} = B - B' + \Delta B \quad (1.3)$$

де B - ширина бандажної полиці нової лопатки (по нижній межі допуску);

B' - ширина бандажної полиці лопатки після обробки на двигуні;

ΔB - різниця між найбільшою западиною і виступом рельєфу зношеної поверхні.

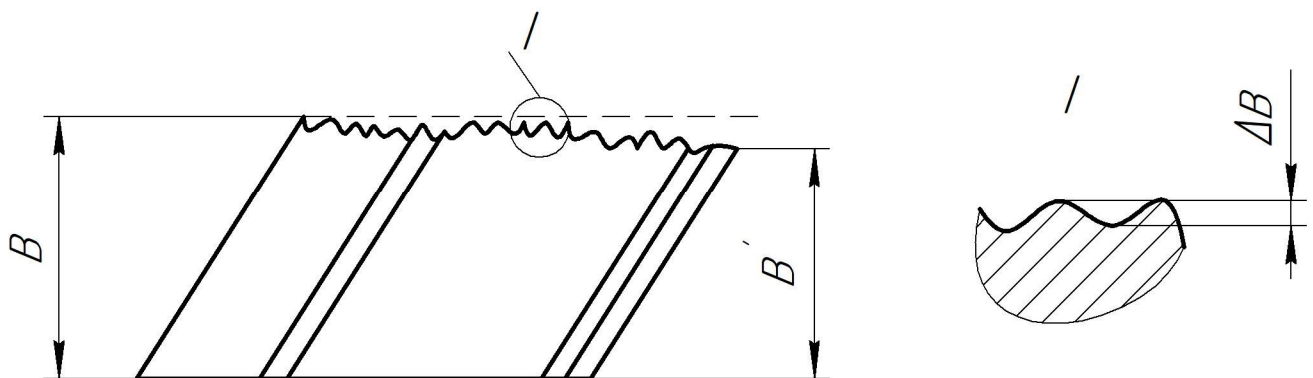


Рисунок 1.2 - Схема вимірювання величини виробітку бандажної полки

Переваги: дешевизна способу, простота. Недоліки: вимірювання зносу проводиться від нижньої межі допуску, що дає неточні показники.

В існуючому методі величина зносу вираховується за рахунок залежності зносу від тиску.

Патент РФ №2269762, МКВ G 01N 3/56. Спосіб виміру зносу матеріалів[3]

Спосіб полягає в тому, що випробуваний зразок встановлюють на машину, до контрзразку прикладають навантаження, включають привід, в результаті чого відбувається знос зразків. При цьому визначають розподіл тиску по формулі Герца і будують графік залежності тиску по ширині канавки зносу. За свідченнями профілографа будують графік залежності зносу по ширині канавки зносу. Далі зіставляють графік тиску по ширині канавки зносу і графік зносу по ширині канавки зносу і будують графік залежності зносу від тиску. Технічний результат - скорочення часу випробувань за рахунок зменшення їх кількості при різних навантаженнях.

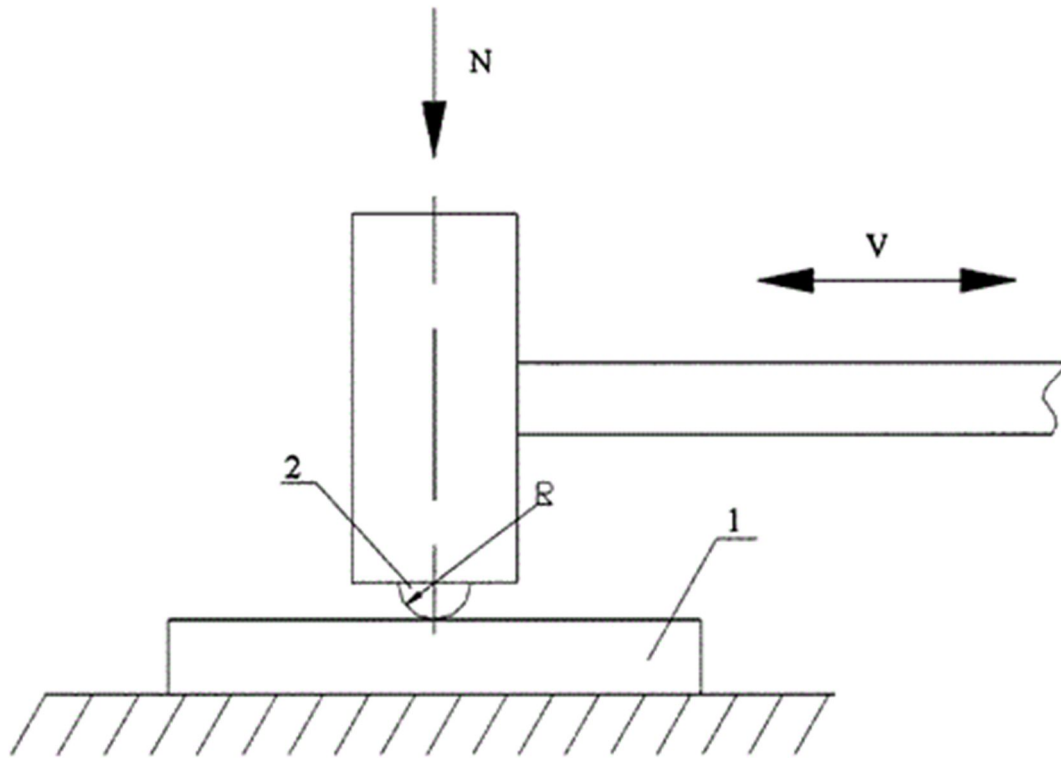


Рисунок 1.3 – Схема виду машини тертя

Відомий спосіб вимірювання зносу мікрометруванням, що полягає в тому, що випробуваний зразок встановлюють на машину, до контрзразку прикладають навантаження, включають привід і після певного часу роботи пари тертя відбувається знос зразків, причому розміри зразків в певних напрямках до і після тертя вимірюють мікрометром і по різниці лінійних величин оцінюють знос.

Недоліком даного способу є велика кількість випробувань в зв'язку з тим, що для отримання залежності зносу від тиску слід провести випробування і заміряти знос при кожному навантаженні.

Найбільш близьким технічним рішенням до заявленого - є спосіб вимірювання зносу матеріалів, що полягає в тому, що випробуваний зразок встановлюють на машину, до контрзразку прикладають навантаження, включають привід і після певного часу роботи пари тертя відбувається знос зразків, який вимірюють при різних тисках, в результаті чого отримують залежність зносу від тиску.

Недоліком даного способу є велика кількість випробувань в зв'язку з тим, що для отримання залежності зносу від тиску слід провести випробування і заміряти знос при кожній навантаженні.

Завдання винаходу - скорочення часу випробувань за рахунок зменшення їх кількості при різних навантаженнях.

Поставлена задача досягається тим, що відомий спосіб вимірювання зносу матеріалів полягає в тому, що випробуваний зразок встановлюють на машину, до контрзразку прикладають навантаження, включають привід, в результаті чого відбувається знос зразків, причому визначають розподіл тиску по формулі Герца і будують графік залежності тиску по ширині канавки зносу, за свідченнями профілографа будують графік зносу по ширині канавки зносу, далі зіставляють графік тиску по ширині канавки зносу і графік зносу по ширині канавки зносу і будують графік залежності зносу від тиску.

Спосіб вимірювання зносу може застосовуватися при випробуваннях вузлів тертя, що працюють при різних навантаженнях. Спосіб вимірювання зносу спрямований на скорочення кількості випробувань для отримання зносу при різних навантаженнях.

Спосіб вимірювання зносу пояснюється на прикладі проведення випробувань на машині тертя, що працює за схемою сфера-площина при зворотно-поступальному переміщенні контрзразку.

Винахід пояснюється кресленнями, де на рис. 1.3 - загальний вид машини тертя, рис. 1.4 - профіль канавки зносу, рис. 1.5 - графік залежності тиску по ширині канавки

зносу, рис. 1.6 - графік залежності зносу по ширині канавки зносу, рис. 1.7 - графік залежності зносу від тиску.

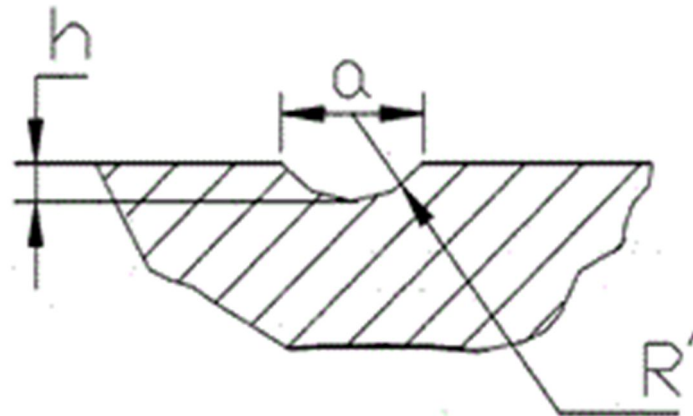


Рисунок 1.4 – Профіль канавки зносу

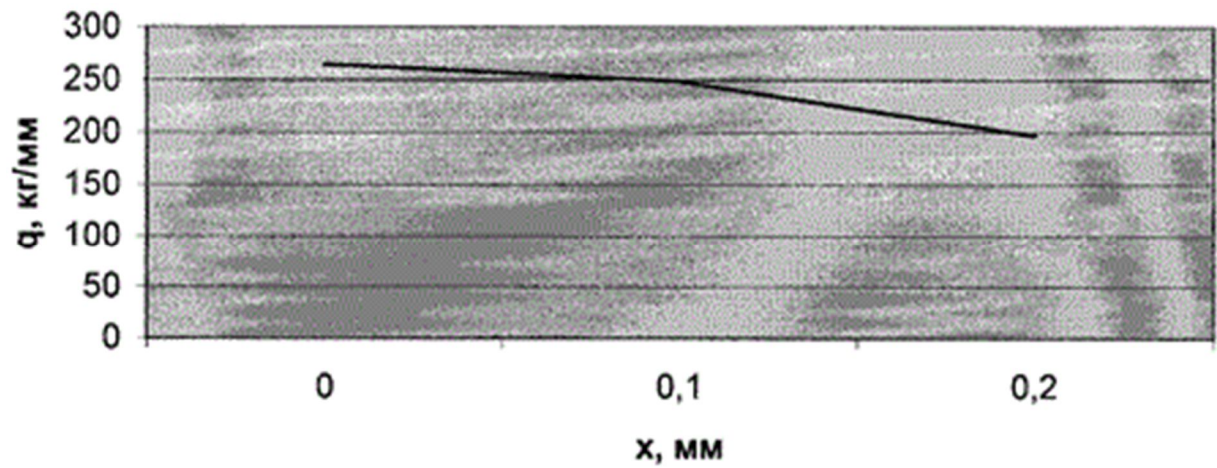


Рисунок 1.5 - Графік залежності тиску по ширині канавки зносу

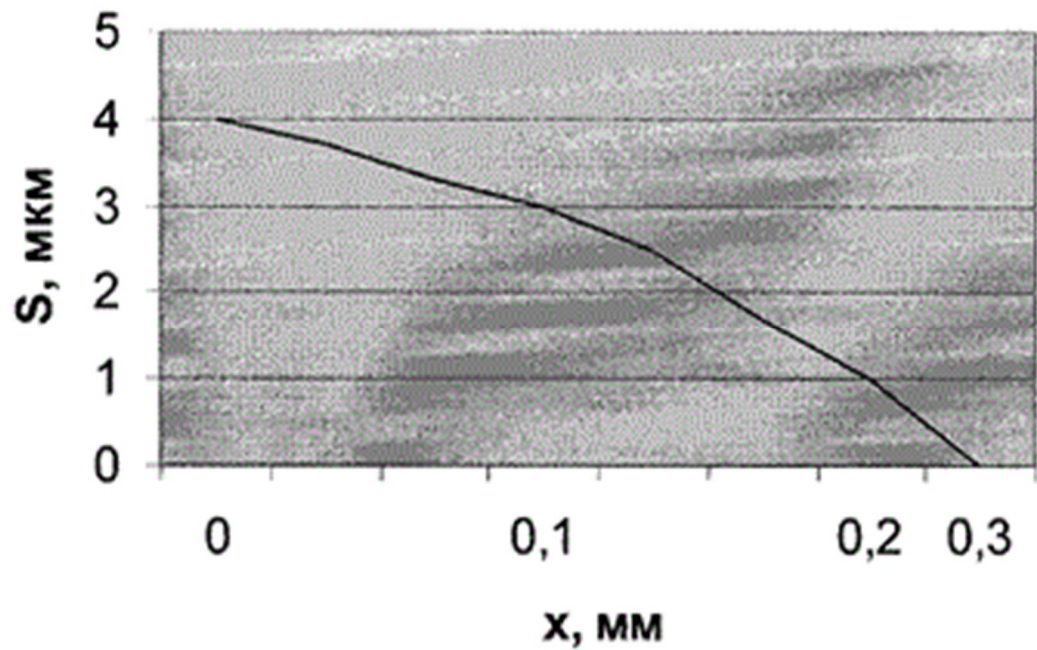


Рисунок 1.6 - Графік залежності зносу по ширині канавки зносу

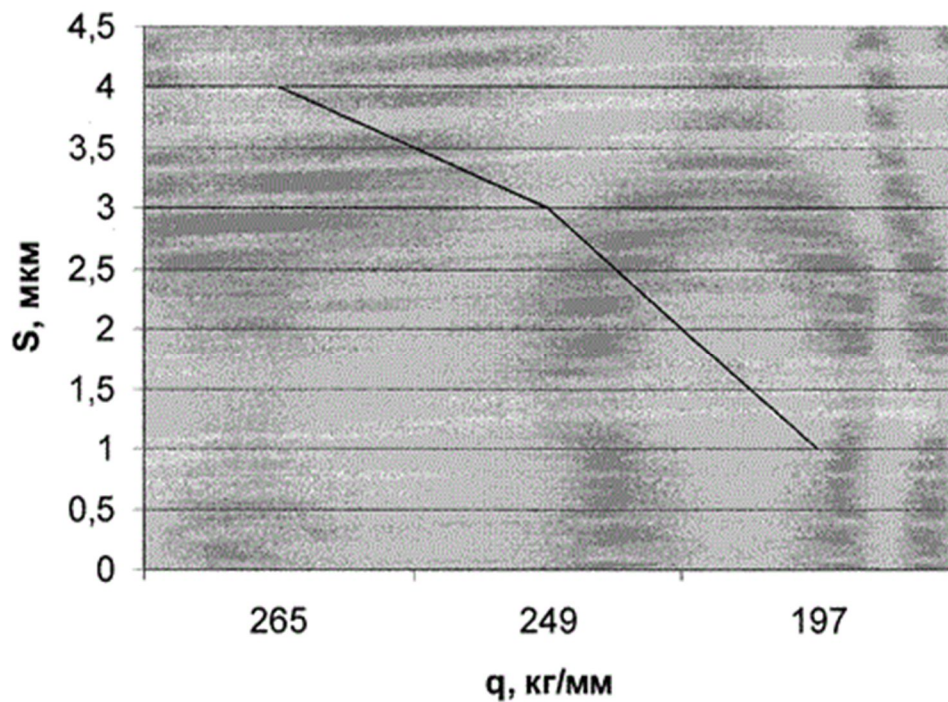


Рисунок 1.7 - Графік залежності зносу від тиску

На машину тертя встановлюють випробуваний зразок 1, а контрзразок 2 може бути виконаний з кульки, що має зносостійкість більше, ніж в 10 разів перевищує зносостійкість зразка 1.

До контробразцу 2 прикладають необхідне за умовами випробувань нормальне навантаження $N = 50$ кг і, надаючи через привід зворотно-поступальний рух V контрзразку 2, виробляють випробування зразка протягом часу, передбаченого конкретною методикою випробувань, наприклад 1 годину. Залежно від часу, режимів і середовищ випробувань на поверхні зразка після випробувань буде утворюватися канавка зносу радіуса $R' = 11,8$ мм, глибиною $h = 4$ мкм, шириною $a = 0,6$ мм і довжиною $l = 10$ мм.

Розрахункова величина тиску на плямі контакту розраховується за формулою Герца (1.5):

$$q(x) = q_0 \cdot \left(1 - \frac{x^2}{\rho^2}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1.5)$$

де q_0 - максимальний тиск, кг / мм²;

ρ - радіус плями контакту, мм;

x - координата, що змінюється на ділянці від 0 до ρ , мм;

$q(x)$ - тиск на координаті x , кг / мм².

Максимальний тиск розраховується за формулою (1.6):

$$q_0 = 1,5 \cdot \frac{N}{\pi \rho^2}, \quad (1.6)$$

де N - нормальне навантаження на індентор, кг.

Радіус зони контакту розраховується за формулою (1.7):

$$\rho = \left(\frac{3}{4} INR \right)^{1/3} \quad (1.7)$$

де I - універсальна пружна постійна, кг / мм²;

R - радіус індентора, мм.

Універсальна пружна постійна розраховується за формулою (1.8):

$$I = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} = 0,91 \cdot 10^{-4} \text{ кг/мм}^2, \quad (1.8)$$

де μ_1 - коефіцієнт Пуассона індентора (0,3);

μ_2 - коефіцієнт Пуассона зразка (0,3);

E_1 - модуль пружності індентора (20000 кг / мм²);

E_2 - модуль пружності зразка (20000 кг / мм²);

Розраховуємо радіус плями контакту (1.9):

$$\rho = \left(\frac{3}{4} \cdot 0,91 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 50 \right)^{1/3} = 0,3 \text{ мм} \quad (1.9)$$

Розраховуємо максимальний тиск (1.10):

$$q_0 = 1,5 \cdot \frac{50}{\pi \cdot 0,3^2} = 265 \text{ кг/мм}^2 \quad (1.10)$$

Розраховуємо тиск на плямі контакту радіусом $\rho = 0,3$ мм з кроком $0,1$ мм і будуємо графік залежності тиску по ширині канавки зносу $q(x)$.

Профілографи знаходимо геометрію канавки зносу і будуємо графік залежності зносу по ширині канавки зносу $S(x)$, де S - знос в мкм.

За результатами двох графіків $S(x)$ і $q(x)$ будуємо графік залежності зносу від тиску $S(q)$, за яким можна визначити знос при різних навантаженнях $0 \dots N$.

Переваги: точність виміру зносу. Недоліки: зразки зношуються по черзі, що збільшує час проведення дослідів.

В даному способі вимір лінійного зносу здійснюється за допомогою реєструючого приладу.

Патент РФ №2141107, МКВ G 01N 3/56. Спосіб виміру зносу зразків на машині тертя[4]

Винахід відноситься до області випробувань матеріалів на знос.

Відомий спосіб безперервного вимірювання сумарного лінійного зносу зразків при випробуваннях на машині тертя, при якому пару навантажують, задають відносне переміщення і в процесі зношування реєструють зміна лінійного зносу зразків за допомогою реєструючого приладу, який пов'язаний з датчиком лінійного зносу [4].

Даного способу вимірювання зносу притаманний значний недолік - сумарний лінійний знос не характеризує знос кожного зразка, при однакових сумарних зношуваннях знос кожного зразка може бути різним.

Винахід направлено на підвищення якості вимірювання зносу зразків на машині тертя.

Рішення поставленого завдання досягається тим, що спосіб вимірювання зносу зразків дозволяє визначити лінійний знос кожного зразка, так як безперервно вимірюється сумарний лінійний знос зразків і один зразок зважується до і після

випробувань, визначається його масовий знос з подальшим переведенням в лінійний, а потім визначається лінійний знос другого зразка.

Пристрій (рис. 1.8) містить: зразки, колодку 1 і ролик 2, провідний вал 3, навантажувальний пристрій 4, датчик лінійного зносу 5, реєструючий прилад 6 і ванночку з маслом 7 для змазування зразків.

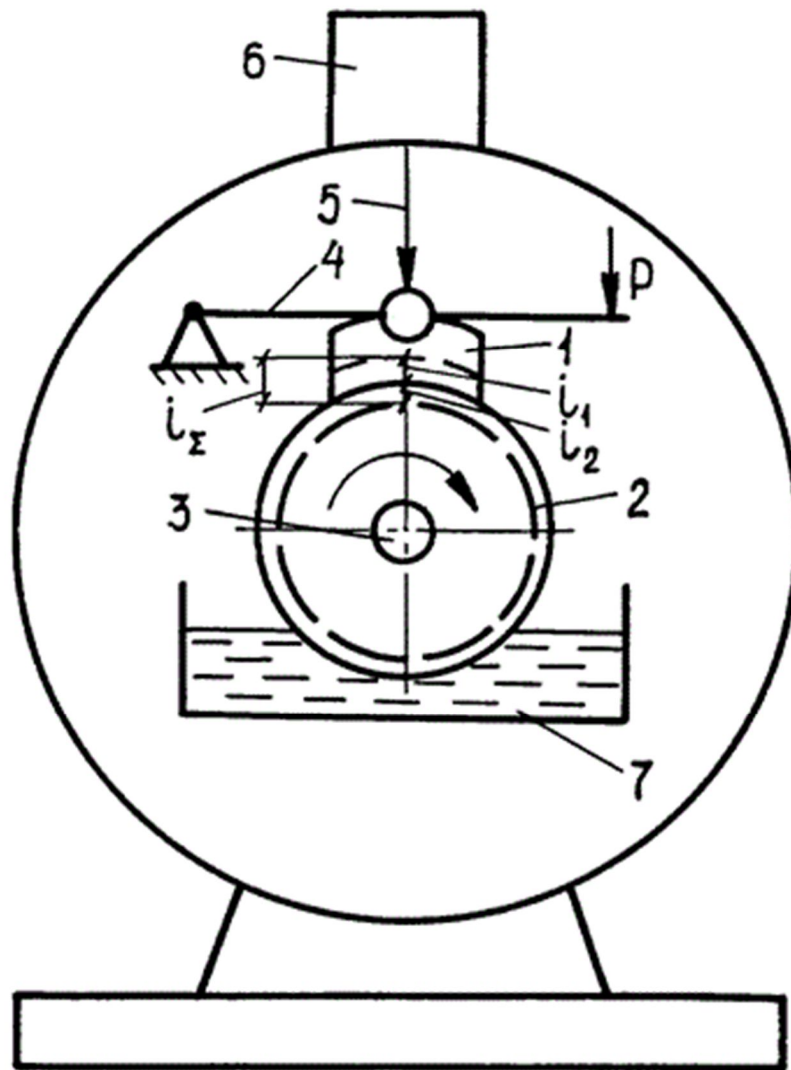


Рисунок 1.8 – Пристрій для виміру лінійного зносу

Спосіб здійснюється наступним чином:

Ролик 2 монтують на ведучому валу 3 машини тертя, зважують колодку 1 і встановлюють над роликом 2, для змащування випробовуваних зразків під ролик 2 встановлюють ванночку з маслом 7. Пару тертя навантажують пристроєм 4, датчик лінійного зносу 5 встановлюють над колодкою 1, задають відносне переміщення зразкам і за допомогою реєструючого приладу 6 безперервно реєструють сумарний

лінійний знос зразків, після випробувань зважують колодку 1 і визначають її масовий знос (1.11):

$$m_1 = m_{1n} - m_{1k} \quad (1.11)$$

де m_{1n} - маса колодки на початку випробувань, г;

m_{1k} - маса колодки в кінці випробувань, м.

Масовий знос колодки 1 переводять в лінійний, виходячи з виразів об'ємного зносу, який можна виразити наступними формулами (1.12), (1.13):

$$V_1 = S_1 \cdot i_1 \quad (1.12)$$

Звідси(1.13):

$$i_1 = \frac{m_1}{S_1 \cdot \rho_1} \quad (1.13)$$

де V_1 - об'ємний знос колодки, мкм³;

S_1 - площа поверхні тертя колодки, мкм²;

i_1 - лінійний знос колодки, мкм;

ρ_1 - питома вага матеріалу колодки, г / мкм³.

Визначають лінійний знос ролика виходячи з сумарного лінійного зносу зразків в кінці випробувань (1.14):

$$i_2 = i\Sigma - i_l \quad (1.14)$$

де $i\Sigma$ - сумарний лінійний знос в кінці випробувань, мкм.

На основі отриманих результатів випробувань на графіку сумарного лінійного зносу будують лінію, що розділяє його на лінійний знос колодки і ролика (рис. 1.9).

Лінійний знос колодки і ролика характеризує зносостійкість кожного зразка і є більш якісним показником, ніж сумарний лінійний знос зразків.

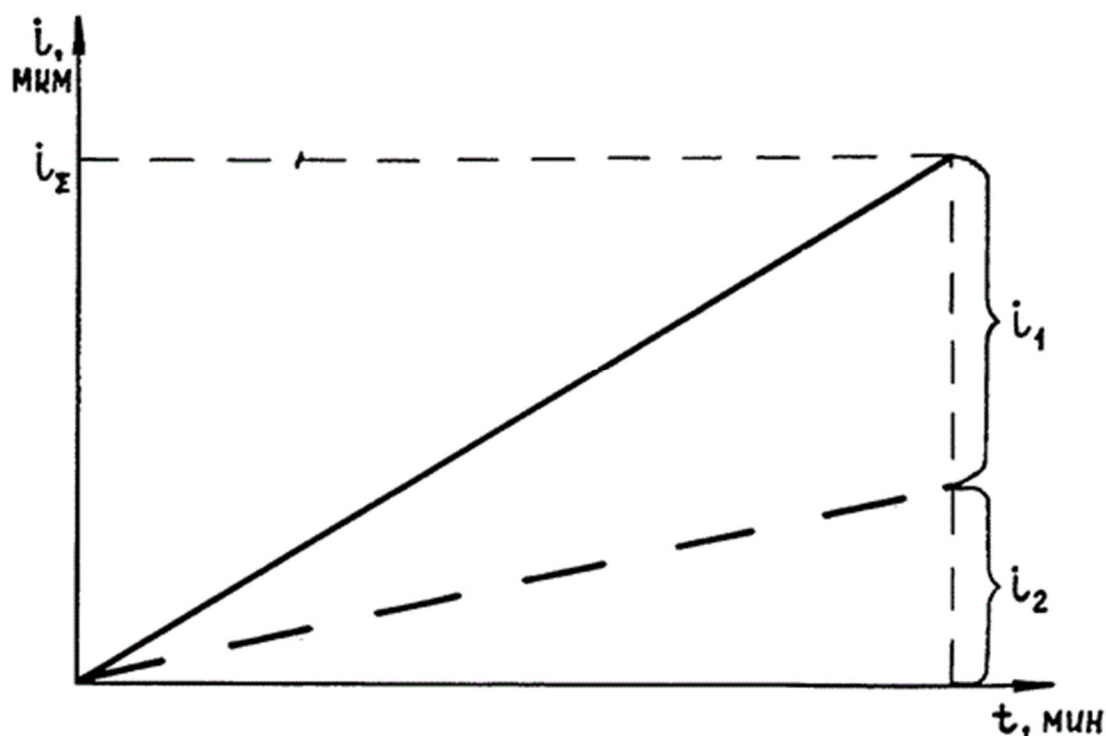


Рисунок 1.9 - Графік сумарного лінійного зносу зразків

Переваги: висока точність вимірювання зносу зразків на машині тертя. Недоліки: сумарний лінійний знос не характеризує знос кожного зразка, при однакових сумарних зношуваннях знос кожного зразка може бути різним.

Існує також спосіб визначення зносу за допомогою радіоактивних ізотопів [5]

Ізотопами називають різновиди атомів одного і того ж хімічного елемента, які при однаковому заряді ядра мають різні масовими числами, так як їх ядра складаються з однакового числа протонів, але різного числа нейтронів. У всіх ізотопів даного елемента число електрона і будова їх електронних оболонок однакові, і, отже, їх хімічні властивості теж однакові. Деякі ізотопи є радіоактивними. Радіоактивність обумовлена перетворенням атомних ядер нестійких ізотопів і елементарних частинок в інші ядра і елементарні частинки, що супроводжуються випусканням альфа, бета і гамма променів. Штучної радіоактивністю називається радіоактивність радіоізотопів, отриманих штучно за допомогою різних ядерних реакцій. Вона може бути отримана у всіх хімічних елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва. Радіоактивні ізотопи широко використовуються в різних областях науки і техніки.

Метод мічення атомів виявився корисним і при визначенні зносу деталей машин. Суть його полягає в тому, що в досліджуваний зразок вводять активний ізотоп. У процесі зносу зразок омивається мастилом, яка забирає продукти зносу разом з радіоактивним ізотопом. Що знаходиться в маслі радіоактивний ізотоп проходить через лічильник елементарних частинок, який вимірює наростаючу в міру зносу радіоактивність мастила.

Для визначення зносу за допомогою радіоактивних ізотопів досліджувану деталь або зразок необхідно активувати, тобто ввести в неї певний ізотоп. В даний час найбільшого поширення набули кілька описаних нижче способів активування деталей.

Введення радіоактивного препарату в метал при литві деталі. Залежно від стану радіоактивного препарату його безпосередньо вводять в розплав або переводять в з'єднання, легко розчиняється в розплаві. Так, введення його в чавун полегшується, якщо радіоактивний препарат попередньо перевести в сірчисте залізо. Кількість радіоактивного препарату для введення в метал при литві деталі знаходять з наступного співвідношення (1.15):

$$m_n = \frac{A_c m_d}{Q_n m_c} \quad (1.15)$$

де m - вага препарату, г;

A_c - радіоактивність досліджуваного шару деталі;

m_d - вага деталі, г;

Q_n - питома радіоактивність вводиться в плавку препарату, МКюрі / г;

m_c - вага досліджуваного шару, м

У деяких випадках при введенні радіоактивного ізотопу в метал можна активувати тільки поверхневий шар деталі. Наприклад, при відцентровому литті підшипників і втулок середніх діаметрів (до 60 мм) можна забезпечити такі умови заливки, при яких активується тільки поверхневий шар товщиною 3-4 мм.

Залежно від цілей випробувань для введення в метал використовують як радіоактивні ізотопи елементів, які рівномірно розподілялися в сплаві, так і елементів, що входять тільки в окремі структурні складові сплаву. В останньому випадку є можливість роздільного випромінювання різних структурних складових.

Застосування методу введення активного ізотопу в метал в процесі плавки доцільно при литві зразків і деталей, що мають малу вагу, виготовлення яких не потребує великої кількості операцій механічної обробки. Для активування великих деталей необхідний великі витрати радіоактивних ізотопів, що небезпечно для експериментатора.

Активовані опроміненням. Цей метод полягає в тому, що виготовлена деталь активується в потоці ядерних частинок. Активацію виробляють в спеціальних фізичних лабораторіях. Недоліком є те, що опромінення помітно впливає на фізичні і механічні властивості матеріалів, а також нерівномірність активності по глибині деталі.

Електролітичне нанесення радіоактивних ізотопів на поверхню деталі. Процес осадження того чи іншого металу ведуть за загальноприйнятими методами з застосуванням звичайних електролітів, в які вводять певну кількість радіоактивної солі, або використовують радіоактивний анод. Цей метод простий і найбільш ефективний тому що в дуже тонкому поверхневому шарі зосереджується велика концентрація радіоактивних ізотопів, але він має обмеження, так як не можна покривати будь-яку поверхню, що треться. Він застосовується лише в тих випадках, коли технологією передбачається нанесення на деталі електролітичних покриттів.

Активація дифузією. При необхідності отримання тонкого активованого шару поверхні досліджуваної деталі використовують здатність ряду елементів проникати в метал шляхом дифузії. Наприклад, сталеві зразки активуються в розчині хлориду заліза, що містить 20% радіоактивного ізотопу. Поверхневий шар в процесі дифузії може активуватися при безпосередньому контакті вільних від оксидних плівок поверхонь металів, що дають між собою ряд твердих розчинів, наприклад, мідь - цинк. Активація дифузією можливо при тісному контакті двох поверхонь або при термодифузійних процесах.

Через неможливість отримання шару певної товщини, недостатню вивченість як характеру розподілу радіоактивного ізотопу по глибині одержуваного шару, так і змін механічних властивостей матеріалу в ньому, цей спосіб не знайшов широкого застосування.

Метод вставок. Заздалегідь приготовані радіоактивні вставки - свідки зносу - запресовуються в спеціально зроблені поглиблення на поверхні виробу. Матеріал вставки повинен бути аналогічним чи близьким за своїми фізико-механічними властивостями до матеріалу вивчаємої деталі. Форма вставок може бути різною. Найбільшого поширення набули циліндричні вставки діаметром 0,7...1,0 мм і довжиною 1,0...1,5 мм. Крім простоти, цей спосіб має ту перевагу, що дозволяє виробляти спостереження не тільки за сумарним процесом зношування різних поверхонь сполучених деталей, але і за зносом їх окремих ділянок і оцінювати швидкість зносу двох сполучених деталей.

До числа недостатньо випробуваних методів активації відноситься метод електроерозійного нанесення радіоактивних металів, а також автогенна і електрична металізація.

Недоліки: небезпека для здоров'я людини, при взаємодії з реактивами; потрібно проводити при спеціальних умови, в лабораторіях; дорогий метод; виконується тільки на деталях, де технологією передбачено покриття. Переваги: використовується для деталей, що мають малі габарити і числа операцій механічної обробки.

1.2 Аналіз літературних джерел інформації по пристроям для вимірювання лінійного зносу

В існуючому методі вимірювання лінійного зносу використовують профілограф:
Визначення величини зносу методом штучних баз [5]

Вимірювання величини зносу методом штучних баз полягає у визначенні шляхом обчислення відстані від поверхні тертя до дна поглиблення, штучно створеного на першій поверхні і закономірно звужується від поверхні до дна поглиблення. Ось поглиблення розташована перпендикулярно в поверхні тертя, і лінійний знос поверхні визначають в напрямку цієї осі.

Поглиблення на поверхні можуть бути нанесені алмазним індентором у вигляді піраміди або конуса шляхом вдавнення, висвердлювання конічного поглиблення, вирізанням лунки обертовим алмазним різцем з заточкою у вигляді тригранної піраміди, витиранням або відшліфовуванням лунки диском. Дно поглиблень служить незмінною штучної базою, від якої вимірюється відстань до поверхні тертя. За зміною довжини відбитка на поверхні тертя, співвідношення якого з глибиною заздалегідь відомо, можна визначити величину місцевого лінійного зносу.

Різні форми закономірно звужуючих заглиблень виконують у вигляді: кульового сегмента; піраміди з квадратними основами; піраміди з ромбічним підставою; конуса; лунки циліндричної форми; лунки, утворені двома гіперболами обертання.

Метод штучних баз в залежності від способу нанесення поглиблень підрозділяється на метод відбитків; метод висвердлених заглиблень; метод вирізаних (відшліфованих) лунок.

Метод відбитків полягає в наступному. На випробуваної поверхні яким-небудь індентором робиться відбиток відомої форми. Матеріалом індентора переважно є алмаз, але може бути і твердий сплав і навіть загартована сталь.

Відбитки можуть наноситися за допомогою приладу для випробування твердості по Вікерсу, на приладах ПМТ-2 і ПМТ-3 для випробувань на мікротвердість, а також за допомогою спеціальних приладів. Зазвичай розмір діагоналі відбитка, службовця для визначення величини лінійного зносу, порядку часткою мікрона.

Можливі похибки при застосуванні цього методу для визначення величини лінійного зносу детально досліджені і виведені формули для визначення глибини відбитків, зроблених квадратної і ромбічної пірамідами на різних за формою поверхнях.

Глибина відбитка від квадратної піраміди обчислюється за формулою (1.16):

$$h = \frac{1}{2\sqrt{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} d \quad (1.16)$$

де h - глибина відбитку;

α – кут при вершині між протилежними гранями;

d – довжина діагоналі.

При $\alpha = 136^\circ$, $h = \frac{d}{7}$.

Глибина відбитка від ромбічної піраміди(1.17):

$$h = \frac{1}{2tg\frac{\beta}{2}}l = \frac{1}{2tg\frac{\gamma}{2}}b \quad (1.17)$$

де l - велика діагональ основи піраміди;

b - менша діагональ піраміди;

β - кут між довгими ребрами;

γ - кут між короткими ребрами.

Величина лінійного зносу плоскій поверхні визначається як різниця глибин відбитка до початку зносу і після закінчення (1.18):

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{1}{m}(d_1 - d_2) \quad (1.18)$$

де Δh - лінійний знос;

h_1 - глибина відбитка перед випробуванням;

h_2 - глибина відбитка після випробування;

d_1 - довжина діагоналі відбитка квадратної піраміди перед випробуванням;

d_2 - довжина діагоналі відбитка після випробування;

m - коефіцієнт пропорційності.

Вищенаведені формули виведені для випадку, коли відбитки зроблені на пластичному металі. Однак цими формулами можна користуватися і тоді, коли відбитки зроблені не тільки на пластичних металах. При цьому внаслідок пружного відновлення форма відбитків відрізняється від форми індентора. Але ця відмінність настільки незначний, що при розрахунках величини зносу поверхні його можна не враховувати.

При нанесенні відбитку вісь індентора повинна бути перпендикулярна до досліджуваної поверхні. Якщо вісь його нахилу, відбиток виходить неправильної форми і при визначенні глибини відбитка необхідно вводити відповідну поправку. Відбитки, нанесені квадратної пірамідою, менш чутливі до перекосу, ніж відбитки ромбічної форми.

Метод відбитків застосовується для визначення величини зносу циліндричних увігнутою і опуклою поверхонь. При цьому слід використовувати формули для увігнутої поверхні (1.19):

$$\Delta h = \frac{(d_1 - d_2)}{m} - \frac{(d_1^2 - d_2^2)}{8R} \quad (1.19)$$

і опуклої поверхні (1.20):

$$\Delta h = \frac{(d_1 - d_2)}{m} + \frac{(d_1^2 - d_2^2)}{8R} \quad (1.20)$$

де Δh - лінійний знос стінки циліндра;

d_1 и d_2 – довжина діагоналі до і після випробування;

R – радіус циліндра.

Для визначення глибини відбитка потрібно заміряти його діагональ, а не відстань між протилежними сторонами в зв'язку з тим, що при видаленні навантаження метал пружно деформується і остаточна форма відбитка відрізняється від форми індентора. Спостереження показують, що ребра пірамідального відбитка деформуються менше, ніж лінії, що проходять через вершину і середину граней.

На визначення величини діагоналі значно впливає спучування металу навколо відбитка при вдавненні піраміди. Вона порушує початкову шорсткість поверхні, спотворюючи величину зносу. Тому спучування слід видалити до початку випробування на зношування. Перед першим виміром діагоналі відбитка спучування шліфується або зачищається наждаковим.

Іншим недоліком, що обмежує застосування цього методу для визначення величини зносу, є вимір форми відбитка після зняття індентора у матеріалів, що володіють порівняно високим боковим вівтарем плинності. Застосування методу відбитків утруднено і в тих випадках, коли знос супроводжується пластичною деформацією поверхневого шару. При цьому краю відбитка запливають і втрачають чітку форму.

Метод відбитків є одним з небагатьох видів, що є в розпорядженні дослідників, дозволяють встановити дійсну величину лінійного зносу в заздалегідь обраному місці і точну картину його розподілу по поверхні тертя. Ось чому він знайшов широке застосування в лабораторній і виробничій практиці.

У виробничих умовах визначення зносу деталей машин в важкодоступних місцях без спеціальних приладів не завжди представляється можливим. У цьому випадку доцільно застосовувати метод накернених відбитків, що полягає в тому, що на досліджуваній поверхні деталі за допомогою конічного керна наноситься відбиток. Конічний індентор-керна з кутом при вершині $120-140^\circ$ виготовляється з твердого сплаву або загартованої сталі.

Величина лінійного зносу визначається за формулою (1.21):

$$\Delta h = 0,5\Delta d \operatorname{tg}\left(90 - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (1.21)$$

де Δh - лінійний знос;

Δd – зміна діаметрів печатки;

α – кут косинуса при вершині.

При $\alpha = 120^\circ$ величина $\Delta h = 0,288\Delta d$.

Для визначення малих величин зносу В.Ф. Швець застосував інтерференційний метод, при якому форма відбитків не має істотного значення. Глибина лунок визначалася на Мікроінтерферометр Лінника. Недоліком цього способу визначення зносу є висока чутливість до забруднень.

Іноді застосовується метод висвердлених заглиблень. Поглиблення виконують твердосплавним свердлом з кутом 120-140°, або шляхом попереднього засвердління отворів, які потім обробляється zenківкою.

Цей метод аналогічний вищеописаним і величина зносу визначається за формулою (1.22):

$$\Delta h = \frac{d_1 - d_2}{m} \quad (1.22)$$

де d_1 і d_2 - діаметри заглиблень на поверхні тертя відповідно до і після випробувань.

Для циліндричних поверхонь величини зносу (1.23):

$$\Delta h = \frac{(d_1 - d_2)}{m} \pm \frac{(d_1^2 - d_2^2)}{8R} \quad (1.23)$$

Метод відбитків дає можливість визначити величину зносу в заздалегідь обраному місці досліджуваної поверхні. Точно вимірюючи за допомогою мікроскопа діагональ відбитка до і після зносу, можна досить точно визначити досить малі величини лінійного зносу порядку часткою мікрона.

Великою перевагою методу відбитків є висока точність вимірювання, можливість побудови епюр радіального зносу при дослідженні циліндрів автомобільних двигунів з будь-якого поясу, порівняно невеликий час випробувань, можливість визначення зносу деталі без урахування деформації останньої.

До недоліків цього методу слід віднести утворення у країв відбитка місцевого спучування поверхні; при випробуванні зносу пружних матеріалів у останніх після зняття індентора спостерігається «пружне відновлення», що спотворює форму відбитка.

Метод вирізаних лунок. Полягає в тому, що на досліджуваній поверхні обертовим різцем вирізається поглиблення певної форми. Знаючи радіус різця і,

вимірявши довжину лунки, легко обчислюють її глибину. Дно заглиблень є постійна база. Різниця відстаней від досліджуваної поверхні тертя до дна лунки, визначених до початку і після випробувань, представляє величину лінійного зносу. Лунки наносять обертовим алмазним різцем, заточеним у вигляді тригранної піраміди з негативним переднім кутом.

Точність вимірювання методом вирізання лунок значно вище, ніж методом відбитків, так як співвідношення між глибиною лунки і довжиною її знаходиться в межах 1:50 - 1:80 замість 1: 7 при методі відбитків.

Вирізання лунки необхідно проводити за кілька проходів, щоб її форма більш точно відповідала розрахункової, і для запобігання появи по краях лунки задирок. Розміри лунки визначаються умовами випробувань - при великих величини зносу наноситися лунка з найбільшою довжиною, а, отже, і глибиною; найменший розмір лунки визначається чистотою досліджуваної поверхні - глибина лунки повинна бути набагато більше висоти мікронерівностей.

Визначення величини лінійного зносу різних поверхонь методом вирізаних лунок проводиться за нижченаведеними формулами. Для лунки, розташованої на плоскій поверхні (1.24):

$$\Delta h = 0,125(l_1^2 - l_2^2) \frac{1}{r} \quad (1.24)$$

Для лунки, розташованої на опуклій циліндричній поверхні (1.25):

$$\Delta h = 0,125(l_1^2 - l_2^2) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right) \quad (1.25)$$

Для лунки, розташованої на увігнутій циліндричній поверхні (1.26):

$$\Delta h = 0,125(l_1^2 - l_2^2)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right) \quad (1.26)$$

де Δh - - лінійний знос;

l_1 і l_2 - довжина лунки до і після випробування;

r - радіус описуваної вершини;

R - радіус кривизни випробуваної поверхні.

Прилади, призначені для визначення зносу методом вирізаних лунок або методом відбитків, повинні забезпечувати нанесення відбитків або вирізання лунки в обраному місці випробуваної поверхні, точніше координування місця відбитка або лунки; точне визначення величини відбитка або лунки до і після випробування.

Для дослідження зношування напрямних токарних і револьверних верстатів в умовах їх експлуатації на Московському гальмівному заводі Проніковим А.С., була розроблена конструкція приладу, заснована на застосуванні методу вирізаних лунок. Крім алмазу був застосований різець зі швидкорізальної сталі Р18 з кутом при вершині 120° . Лунки при цьому виходили з менш гострими кінцями, ніж при алмазному різці, що, однак не вплинуло на точність вимірювання. Вимірювання лунки вироблялося при кожній перестановці приладу одночасно з нанесенням нової лунки. Час для нанесення і вимірювання однієї лунки, включаючи перестановку приладу складає 3 - 4 хв при вимірюванні окуляр-мікрометром. Надалі на базі першого зносометра П-1 був створений оригінальний зносомер П-3, який дозволяє спостерігати за вирізанням лунки.

На Московському заводі «Калібр» виготовляється серійно прилад типу УПОІ-6, призначений для визначення методом вирізаних лунок зносу циліндрів і поршневих кілець ДВС, мають діаметр від 62,5 до 155 мм.

Зручним приладом при експлуатаційному контролі зносу циліндрових втулок, кілець шийок колінчастих валів, штоків в дизелях є оптико-механічний індикатор зносу ОМІ-1.

У деяких випадках нанесення лунки обертовим різцем буває пов'язано зі значними труднощами. С.В. Венцель і Н.М. Чупис запропонували метод відшліфованих лунок для вивчення зносу деталей шасі автомобіля. Цей метод дозволяє наносити лунки на внутрішніх поверхнях втулок невеликого діаметру. Однак застосування карборундових диска пов'язано з необхідністю вимірювання діаметра його після оголошення трьох - п'яти лунок, що викликано поступовим зношуванням диска.

Застосування методу вирізаних лунок дозволяє дати досить точну кількісну оцінку зносу, визначити термін служби будь-якої третьової деталі і таким чином встановити моторесурс двигуна, довговічність служби будь-якого вузла. Ця можливість особливо важлива при створенні нових машин і конструкцій. У виробничих умовах цей метод зручний тим, що зусилля, необхідні для вирізання лунки, невеликі, а довжина лунки більше, ніж діагональ відбитка при однаковій їх глибині.

При дослідженні малих величин зносу, порядку декількох мікрон, застосування методу вирізаних лунок важко, в цьому випадку слід віддати перевагу методу відбитків. Виникають труднощі і при визначенні зносу поверхонь, що мають ризики, що збігаються за напрямком з довжиною лунки, так як при цьому досить складно визначити довжину лунки. Взагалі ж вирізана лунка повинна розташовуватися перпендикулярно до напрямку тертя даної деталі, щоб кінці лунки не зливалися з ризиками, що виникли на поверхні в процесі тертя.

У випадках, коли безпосередній замір лунки або відбитка за допомогою мікроскопа утруднений або взагалі неможливий, глибину лунки визначають за зліпком. Цей різновид методу штучних баз полягає в наступному: досліджуваної поверхні, на якій зроблено штучне поглиблення, знімають зліпок за допомогою самотвердіючої маси або відбиток на пластичному металі, або пластмасі. Потім

вимірюють висоту відбитка поглиблення, яке може не мати закономірного співвідношення між глибиною і поперечними розмірами.

Е.С. Кузнєцов і О.В. Соколов отримали зліпки на пластинах прозорого целулоїду, з одного боку розм'якшеного в ацетоні. Поглиблення на досліджуваній поверхні деталі вони наносили за допомогою чотиригранної піраміди. Товщина пластини, яка застосовується для зняття зліпка, була приблизно в 15 разів більше глибини відбитка, а довжина сторони - в 20 разів більше його діагоналі. Перед зняттям зліпка поверхню навколо лунки ретельно промивали бензином, спиртом або іншим розчинником, в залежності від роду забруднення, протирати тампоном, змоченим в ацетоні. Пластина з одного боку розм'якшувалася в ацетоні на глибину приблизно в 5 разів більшу глибини лунки. Потім пластину розм'якшеної стороною щільно і з посиленням притискали до лунки протягом 15-30 секунд. Висохлу пластину відокремлювали від лунки. При застосуванні сушильної лампи потужністю 250Вт час виготовлення зліпка не перевищує 20 хв. Похибка вимірювання лунки при використанні зліпка в порівнянні з похибкою вимірюваної безпосередньо становить не більше 2%.

При знятті зліпків необхідно застосовувати матеріал, який добре заповнює поглиблення, а при затвердінні не дає усадки і володіє достатньою твердістю і міцністю. Цим вимогам в достатній мірі відповідає стіракріл, широко використовуваний в стоматологічній практиці і ливарному виробництві. Затверділий стіракріл порівняно легко відділяється від випробуваної поверхні. Зліпки зі стіракрілу можна обстежити на контактних і оптичних приладах. Готується препарат з порошку і рідини. На знежирену поверхню, знос якої підлягає визначенню, наносять ризику і накладають на неї формочку. У неї засипається порошок до утворення шару завтовшки 2 мм і шляхом поступового додавання рідини замішується. Через 20-25 хв зліпок твердне і легким ударом видаляється з поверхні.

Перед зняттям першого відбитка, поглиблення, що утворюються по межах спучування, шліфують. Для забезпечення повторного вимірювання висоти в одному і тому ж місці поглиблення цей вимір виконувався на встановленій відстані від базисної риски. Остання наносилася тим же інструментом, що і основна, тільки на

велику глибину, перпендикулярно до основної. Глибину риски слід вибирати, виходячи з умов роботи досліджуваного матеріалу.

Визначення зносу по зліпкам не вимагає спеціального обладнання, може проводитися як в лабораторних, так і виробничих умовах. Дає можливість розділити процес вимірювання зносу на дві частини: зняття відбитків, яке не потребує спеціального обладнання і високої кваліфікації робітника, і вимірювання висоти відбитка поглиблення в лабораторії на спеціальних приладах.

Переваги: точність вимірювання. Недоліки: вимагає спеціальних умов проведення вимірювання: лабораторії, пристосування; порушує цілісність деталі, за рахунок поглиблень на поверхні; висока вартість методу.

Визначення величини зносу методом профілографування [5]

На профілографі визначається величина так званого «первинного зносу», за який можна прийняти різницю в висоті мікронерівностей від лінії западин до гребінця, заміряну на одному і тому ж ділянці в різні моменти випробування. Спосіб полягає: з одного і того ж ділянки досліджуваної поверхні знімаються профілограми від однієї ділянки до іншого. На профілографі контури одних і тих же западин залишаються постійними, а виступи, внаслідок зносу, змінюють свою висоту. Визначаючи загальне зменшення виступів від лінії западин, отримуємо величину первинного зносу. У разі, якщо вона підвищує висоту нерівностей, в якості постійної бази, від якої проводиться вимірювання, вибирається неробочий ділянку досліджуваної поверхні.

Застосування методу профілографування дозволяє отримати графічний запис рельєфу зношеної поверхні, що дає можливість судити про розподіл зносу по цій поверхні в межах ходу голки.

Постійна база може служити для спеціальних нанесень на досліджуваній поверхні подряпини, глибина якої перевищує величину вимірюваного зносу. Спосіб нанесення і форма подряпини не мають істотного значення, однак слід мати на увазі, що подряпина не повинна псувати службові властивості поверхні. Зняття профілограм проводиться в напрямку, перпендикулярному напрямку подряпини.

При визначенні зносу сталевих зразків цим методом на зразок наноситься подряпина, дно якої служить постійною базою. Перша профілограма знімалася для випробування, наступні - в певні моменти. Профілограма знімалася приблизно в одному і тому ж перерізі. При накладенні профілограм таким чином, щоб контури дна подряпини у всіх їх збігалися, легко визначити величину лінійного зносу.

Профілограф Амона складається з горизонтально розташованого щупа, що дозволяє знімати профілограми з поверхні виробів будь-якої величини. Довжина траси - 125 мм, забезпечує можливість дослідження розподілу зносу на досить значній ділянці поверхні. Недолік: не можна встановити обмацувати голку в заздалегідь обрану точку досліджуваної поверхні.

Цей недолік відсутній у профілографі ИЗП-5 конструкції Б.М. Левіна. Спеціальний мікроскопічний пристрій дозволяє попередньо переглядати досліджувану поверхню для вибору найбільш відповідної ділянки і встановлювати голку в обрану точку, що виключає похибку при визначенні величини зносу, пов'язану з неточністю установки голки при знятті профілограм в різні моменти дослідження. Наявність голки з радіусом 1,5 мкм забезпечує високу роздільну здатність приладу. Невелике вимірювальне зусилля дозволяє застосовувати прилад для дослідження не тільки сталевих деталей, але і деталей з кольорових металів і навіть пластмас.

Профілограф моделі 201 є найбільш вдалою конструкцією. Його дія заснована на принципі обмацування досліджуваної поверхні алмазної голкою з дуже малим радіусом заокруглення і перетворення коливань голки в зміни напрути індуктивним методом. Прилад складається з станини з вертикальною стійкою, мотопривода, що переміщається по стійці, індуктивного малогабаритного датчика, спеціального столика, на якому кріпиться деталь, електронного блоку з показує приладом і записуючого приладу.

Профілограф-профілометр моделі 201 може бути використаний для визначення зносу металевих і неметалевих деталей.

Переваги: профілографування слід віднести і можливість визначення дуже малих величин зносу з великою точністю. Недоліки: неможливість зняти

профілограми до і після випробувань з одного і того ж перетину, що призводить до похибки величини лінійного зносу; при нанесенні подряпин на краях останньої утворюються навали, спотворюють початковий мікропрофіль поверхні; операція профілографування надзвичайно складна.

1.3 Мета і завдання магістерської роботи

Завданням магістерської роботи є розробка способу та пристрою для вимірювання лінійного зносу бандажних полиць робочих лопаток турбін.

Необхідно вирішити наступні задачі:

- провести вимірювання та аналіз лінійного зносу бандажних полиць робочих лопаток турбін ГТД;
- визначити значення $M[y(\tau)]$, $\sigma[y(t)]$ та побудувати їх залежності від наробітку двигунів;
- розробити спосіб та пристрій для вимірювання лінійного зносу бандажних полиць робочих лопаток турбін ГТД;
- розробити конструкцію пристрою для вимірювання бандажних полиць робочих лопаток турбін;
- підготувати матеріали для заявки на отримання патенту на спосіб вимірювання.

Висновки до розділу

Виконано літературний огляд, в якому розглядались існуючі способи та прилади для вимірювання лінійного зносу. Відомі способи базуються на універсальних (штангенциркуль) та спеціальних (профілограф-профілометр) вимірювальних інструментах. Вище перераховані способи вимірювання, в більшості випадків, мають складні умови виконання (взаємодія з реактивами[5]; поглиблення, що пошкоджують поверхневий шар деталі[5]; велика кількість випробувань [3] і т. д.), що призводить до великих затрат часу.

Було виявлено, що існуючі способи та прилади для вимірювання лінійного зносу – є малоефективними та, в багатьох випадках, складно реалізовані. Виходячи з цього було розроблено спосіб та пристрій для виміру лінійного зносу бандажних полиць робочих лопаток турбін ГТД.

2 КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОГО ЗНОСУ БАНДАЖНИХ ПОЛИЦЬ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИНИ ГДТ

2.1 Аналіз розмірної точності робочої лопатки турбіни

Роблячи аналіз розмірної точності лопатки (рис.2.1), з'ясуємо, що в ній технологічно, а що не технологічно, тобто які труднощі можуть виникнути при її виготовленні.

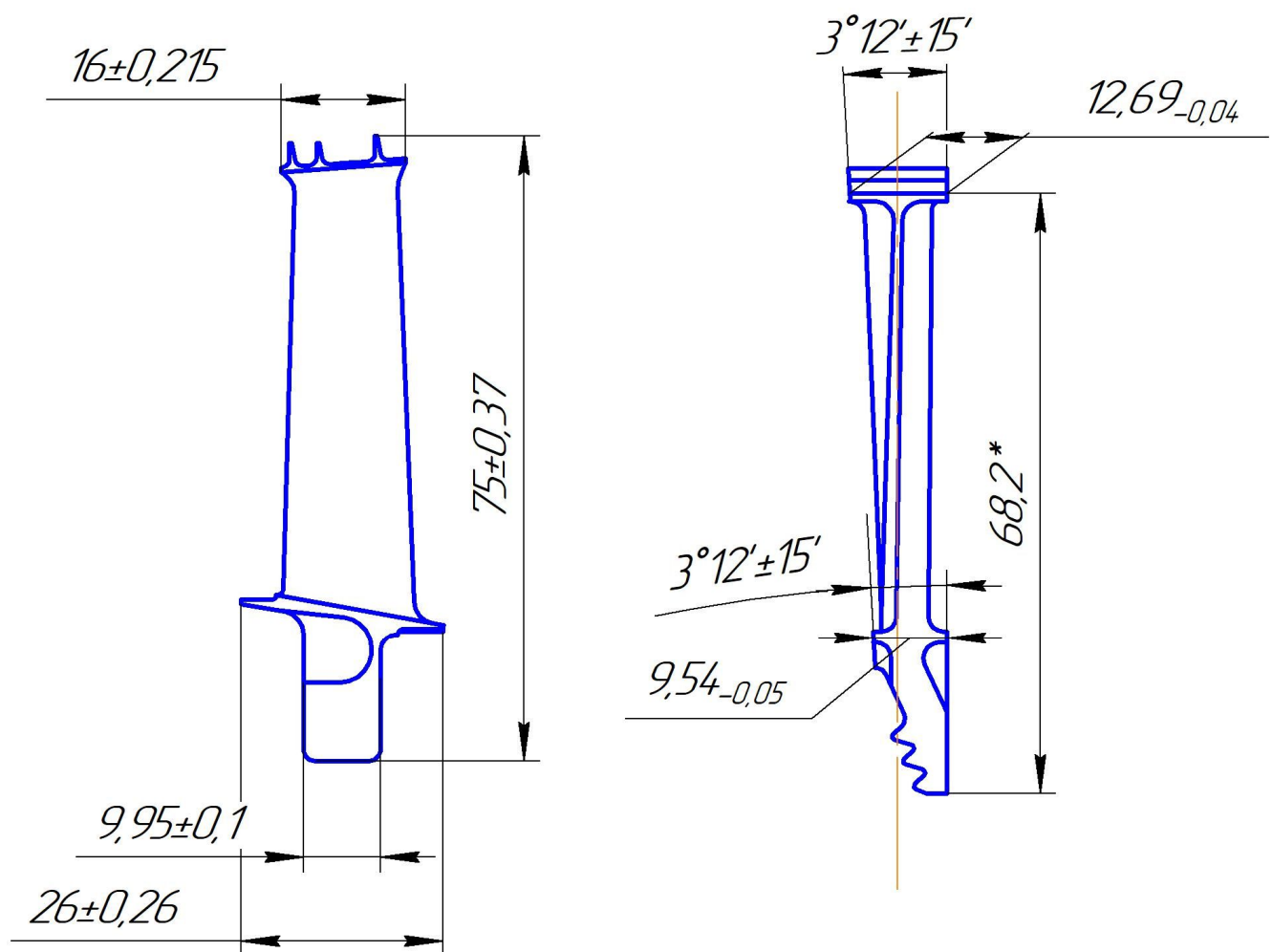


Рисунок 2.1 – Креслення робочої лопатки турбін

Якісні показники

- оброблюваність матеріалу різанням - погана;
- на деталі наявні поверхні неправильної геометричної форми;

- вага деталі та її габаритні розміри не потребують застосування спеціальних підйомних механізмів;

- допуски та граничні відхилення на розміри відповідають стандартним значенням.

Кількісний аналіз

Кількісну оцінку технологічності деталі робимо за наступними показниками:

- коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів (2.2):

$$K_{y.e.} = \frac{Q_{y.e.}}{Q_e} = \frac{96}{24} = 4 \geq 0,6 \quad (2.2)$$

де Q_e - кількість елементів деталі, з яких вона складається (допускається підрахувати число основних розмірів, якими обмежена деталь;

Q_{ye} – кількість уніфікованих (стандартизованих) елементів деталі, що входять у Q_e (допускається підрахувати скількох розмірів із записаних раніше, входять у стандартні ряди чисел за ДСТУ 6636-69);

- коефіцієнт використання матеріалу заготовки (2.3):

$$K_{u.m.} = \frac{M_{d.}}{M_z} = \frac{0,17}{0,38} = 0,45 \leq 0,8 \quad (2.3)$$

де M_d - маса деталі за даними креслення, кг;

M_z – маса заготовки, кг.

- коефіцієнт точності обробки (2.4):

$$K_{m.o.} = 1 - \frac{1}{A_{cp.}} \quad (2.4)$$

де $A_{cp.}$ - середній квалітет точності, обумовлений по формулі (2.5):

$$A_{cp.} = \frac{1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + 17 \cdot n_{17}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{17}} \quad (2.5)$$

де 1, 2...17 - квалітет точності, по якому виготовляється деталь;

$n_1, n_2 \dots n_{17}$ - кількість розмірів деталі, що виконується по відповідному квалітету;

$$A_{cp.} = \frac{3 \cdot 2 + 5 \cdot 3 + 7 \cdot 9 + 8 \cdot 6 + 9 \cdot 3}{23} = 6,7$$

тоді:

$$K_{m.o.} = 1 - \frac{1}{6,7} = 0,85 \geq 0,8$$

- коефіцієнт шорсткості обробки (2.6):

$$K_{ш.о.} = 1 - \frac{1}{B_{cp.}} \quad (2.6)$$

де $B_{cp.}$ - середня шорсткість поверхонь деталі, що визначає значення параметр Ra (мкм).

Визначається за формулою (2.7):

$$B_{cp.} = \frac{0,1 \cdot n_1 + 0,2 \cdot n_2 + \dots + 25 \cdot n_9}{n_1 + n_2 + \dots + n_9} \quad (2.7)$$

де 0,1; 0,2...25 - параметри шорсткості поверхні за ДСТ 2789-73 відповідно з 3-го по 11-ий класи;

$n_1, n_2 \dots n_9$ - кількість поверхонь, що мають шорсткість, відповідну даному числовому параметру Ra.

$$B_{cp.} = \frac{1,6 \cdot 8 + 3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 1}{10} = 2,23$$

тоді:

$$K_{ш.о.} = 1 - \left(\frac{1}{2,23} \right) = 0,55 \geq 0,32$$

На підставі аналізу якісних і кількісних показників робимо висновок, що деталь нетехнологічна.

2.2 Принципіальна схема пристрою та циклограма вимірювання

Для визначення лінійного зносу бандажної полки робочої лопатки турбіни ГТД використовується дана принципіальна схема пристрою (рис. 2.2):

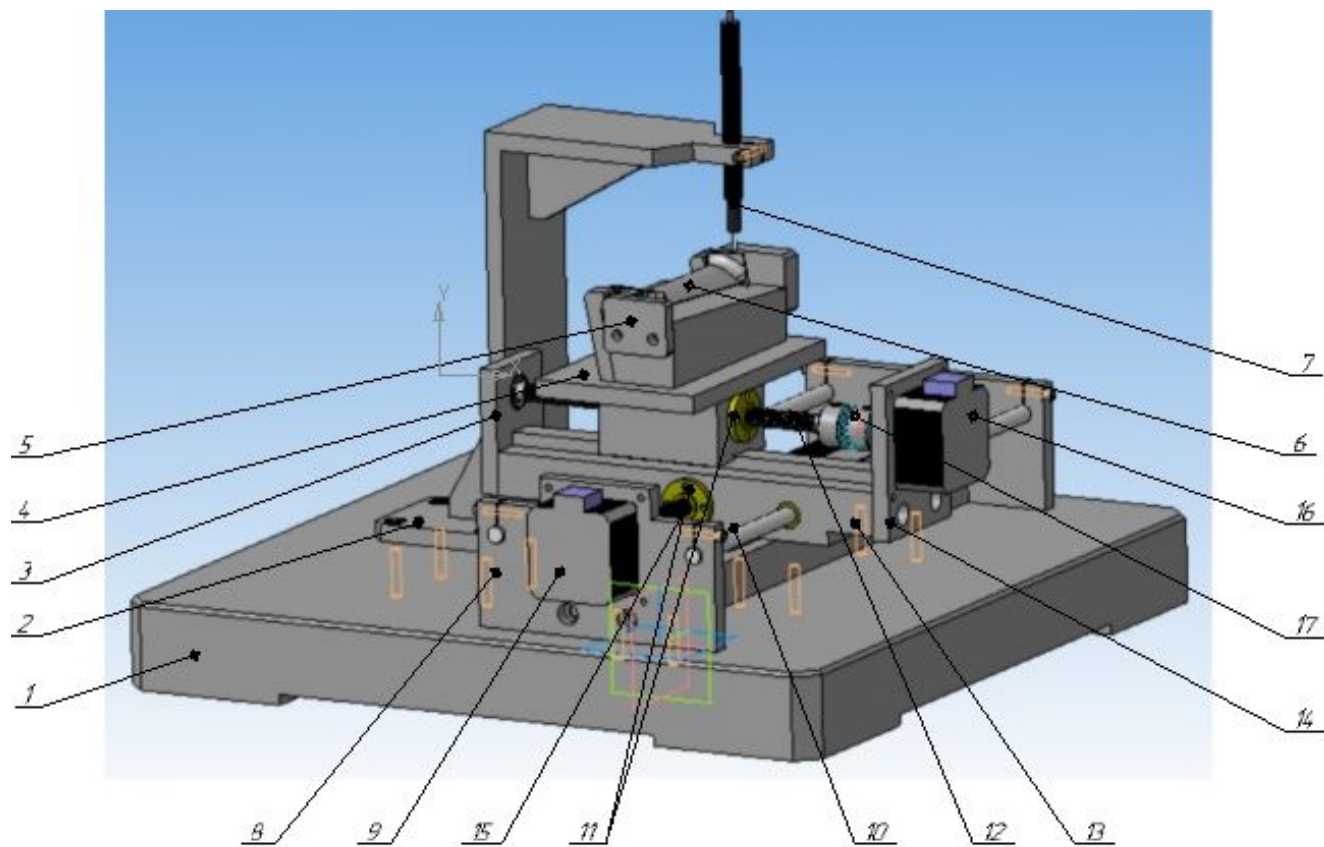


Рисунок 2.2 – Принципіальна схема пристрою

1 - плита; 2 - кронштейн; 3 - опора; 4 - плита для колодки; 5 - колодка для контролю розміру; 6 - лопатка; 7 - датчик; 8, 14 - опора; 9, 16 - шаговий двигун Nema 17; 10 - направляюча; 11 - втулка; 12 - вал; 13 - направляюча; 15 - втулка; 17 - муфта.

Дане пристосування дозволить виміряти величину зносу бандажної полиці робочої лопатки турбіни. Лопатка встановлюється в ложемент, який має переміщення по двом осям X і Y. Переміщення по кожній з осей здійснюється від двох незалежних приводів. В якості приводу використовується кроковий електродвигун типу NEMA17. На нерухомій стійці встановлено сенсорний датчик, який фіксує виміри бандажної полиці.

Виконавши графічну візуалізацію, одержуємо (рис.2.5):

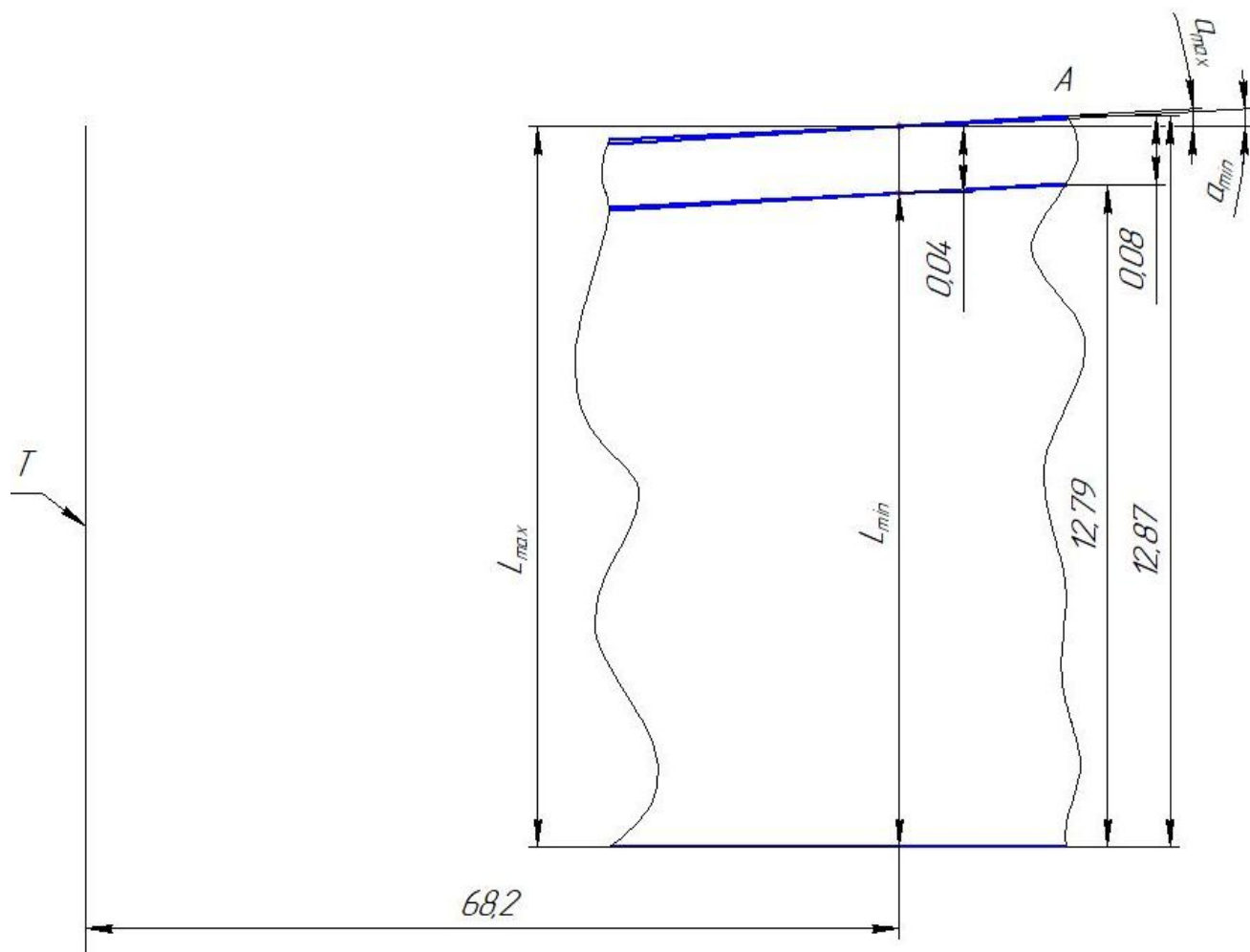


Рисунок 2.5 - Визначення похибки базування по полиці бандажа

Виходячи з графічної візуалізації, похибка базування по полиці бандажа становить $\Delta_{\delta} = 0,08$ мм.

Таким чином, загальна похибка базування буде складати (2.8):

$$\Delta_{\text{сум}} = \Delta_x + \Delta_{\delta} \quad (2.8)$$

$$\Delta_{\text{сум}} = 0,07 + 0,08 = 0,15 \text{ мм}$$

2.4 Вибір схеми зажиму лопатки в пристрої

На рис. 2.6 зображена схема зажиму лопатки:

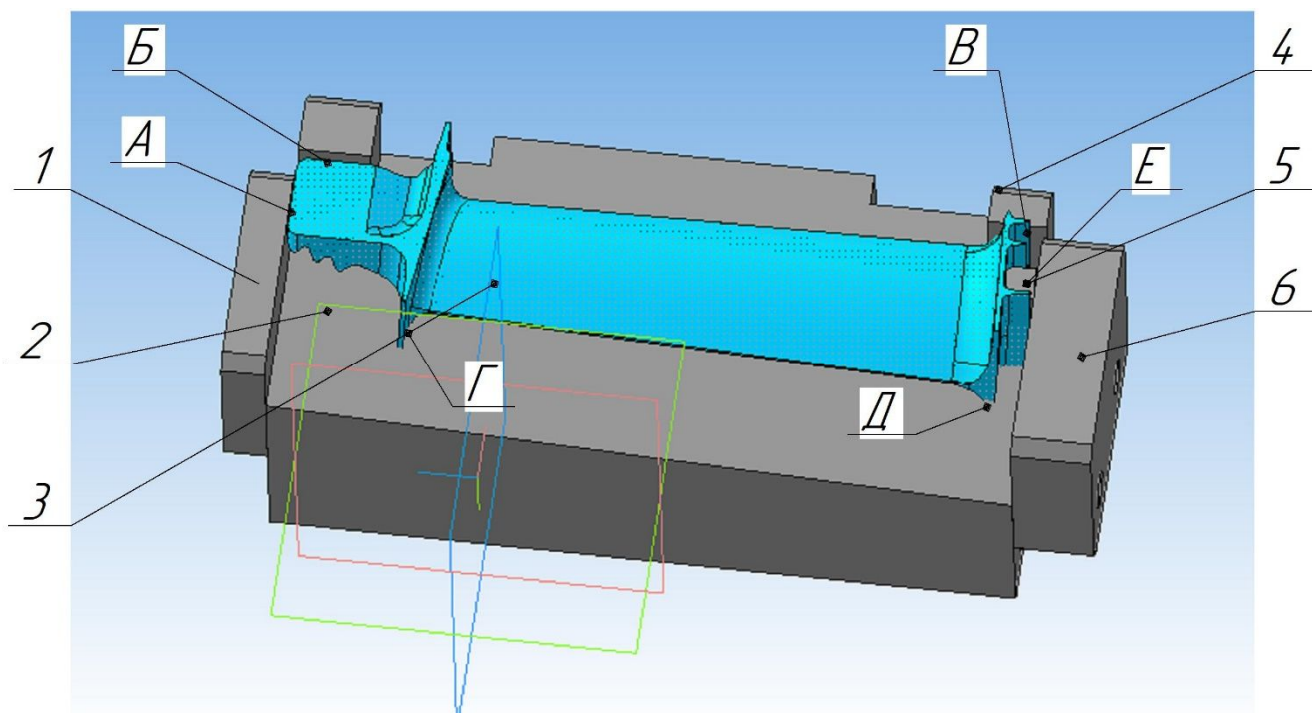


Рисунок 2.6 – Схема зажиму лопатки в пристрої

1 – планка для хвостовика; 2 – основа; 3 – лопатка; 4 – упор; 5 – підводна опора; 6 – планка; А – полиця хвостовика; Б – полиця бандажа

В якості баз при установці лопатки в пристрої для контролю розміру використовуються: по осі X - торець бандажної полиці Б і торець хвостовика В; по осі Y - полиця бандажа Г і полиця хвостовика Д з боку корита; по осі Z - упор припадає в підошву лопатки А, а в бандаж підводиться підводна опора Е. Така схема базування дозволяє позбавити лопатку всіх ступенів свободи, і тим самим, надійно зафіксувати деталь в приладі.

2.5 Вибір механізму переміщення з'єднання «Гвинт-гайка»

Загальна характеристика[7]

Передачею гвинт-гайка називається механічна передача, що складається з гвинта і гайки і призначена для перетворення обертального руху в поступальний або навпаки.

Переваги передачі гвинт-гайка: простота, компактність і технологічність конструкції; можливість отримання повільного руху при високій точності переміщень; велика навантажувальна здатність, плавність і безшумність роботи.

Недоліки передачі: значне тертя в різьбовій парі, що викликає підвищений її знос і порівняно низький ККД.

Передача гвинт-гайка широко застосовується: для створення великих сил (гвинтові преси, вантажопідйомні машини, домкрати); для точних переміщень (механізми подачі в металорізальних верстатах, вимірювальних приладах, робочих органах роботів, установчі та регулювальні пристрої).

Передача гвинт-гайка (рис.2.6) служить для перетворення обертального руху в поступальний. Гнучка муфта компенсує неспіввісність і неточність в з'єднаннях, якщо такі є.

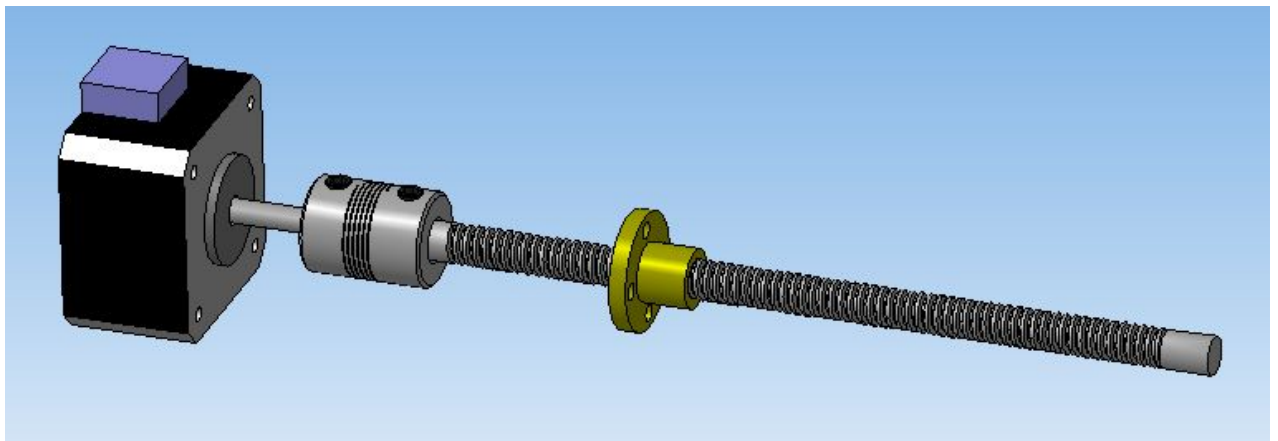


Рисунок 2.6 – Принципіальна схема передачі гвинт-гайка

Вибір матеріалів гвинта і гайки

Вибираємо в якості матеріалу гвинта прокат зі сталі 35, вид термообробки - поліпшення, твердість по Бринелю $HV = 180 \dots 210$. Межа плинності $\sigma_T = 200 \text{ МПа}$, межа міцності $\sigma_b = 275 \text{ МПа}$.

Як матеріал гайки вибираємо бронзу марки Бр.010Ф1. Спосіб заливки в кокіль. Твердість $HV = 110$. Межа плинності $\sigma_T = 200 \text{ МПа}$, межа міцності $\sigma_b = 275 \text{ МПа}$.

Вибір підшипників

Обираємо підшипники кулькові радіальні однорядні, які призначені для сприйняття радіальних навантажень, а також осьових навантажень в обох напрямках,

особливо при збільшених радіальних зазорах, а саме підшипник 2060088 (рис.2.7). При цьому осьові навантаження можуть досягати 70% невикористаного радіальної.

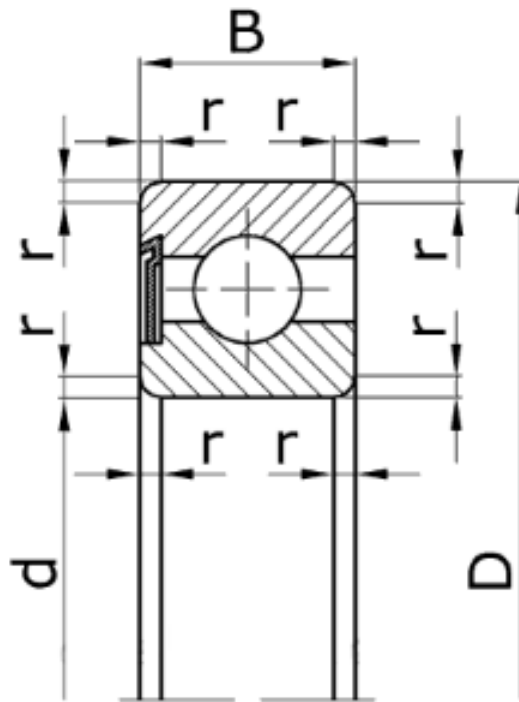


Рисунок 2.7 – Підшипник шариковий радіальний

Підшипники [7] мають значну швидкохідність при відповідних конструкціях, матеріалу сепаратора і відповідному змащенню. Захисні шайби оберігають підшипники від витoku мастильного матеріалу і, в деякій мірі, від проникнення пилу і бруду в їх порожнини.

Напрямок сприйнятих навантажень на підшипник - радіальне і осьове в обидві сторони. Осьове - до 70% невикористаного допустимого радіального навантаження. У таблиці 2.1 вказані характеристики підшипника.

Таблиця 2.1 – Характеристики підшипника 2060088

Внутрішній діаметр підшипника	d	8	мм
Зовнішній діаметр підшипника	D	16	мм
Ширина підшипника	B	5	мм
Радіус монтажно́ї фаски підшипника	r	0,4	мм
Статистична вантажопідйомність	C0	710	Н
Динамічна вантажопідйомність	C	1600	Н

2.6 Вибір крокового двигуна

Крокові двигуни одні із самих простих, дешевих і легких способів реалізації систем точного позиціонування. Кроковий двигун перетворює електричну енергію в механічну. Основною відмінністю від інших двигунів – є спосіб обертання. На відміну від інших механізмів, крокові двигуни обертаються не неперервно, а кроками, які представляють собою частину повного обороту. Частіше всього двигуни управляються імпульсами, які перетворюються в градус, на які відбуваються обертання.

В нашому випадку було обрано двигун NEMA 17 з кутовим кроком $1,8^\circ$. Тобто обраний кроковий двигун при кожному імпульсі, що надходить, обертає свій вал на $1,8^\circ$.

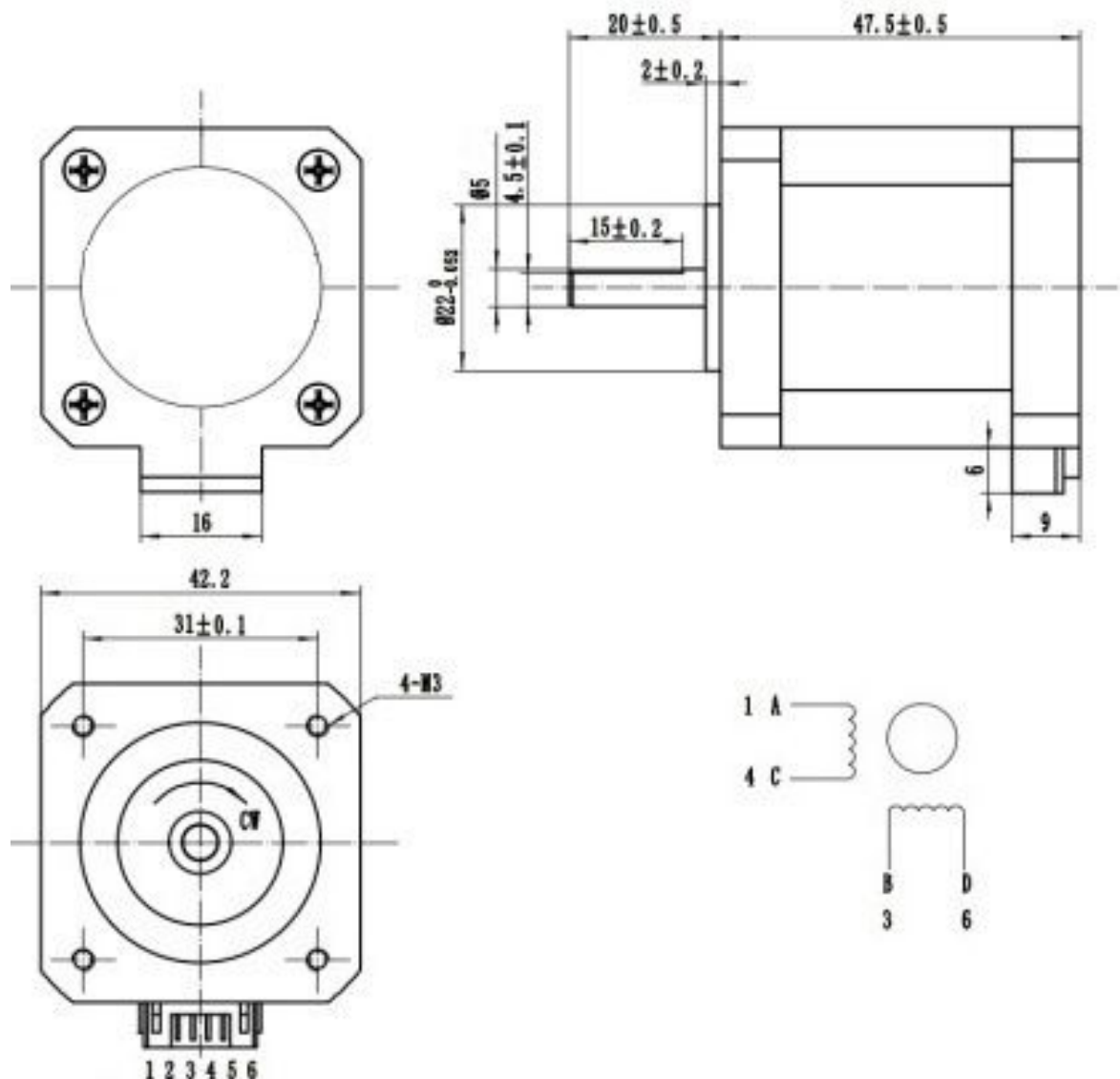


Рисунок 2.8 – Кроковий двигун Nema 17

Технічні характеристики крокового двигуна:

Сила утримування 40 N·см

Максимальний струм споживання 1,7 А

Активний опір фази 1,5 Ом

Кут кроку 1,8 градусів

Індуктивність фази 2,8 мГн

Робоча температура -20°C ... +50°C

Вага 280 г

2.7 Вибір типу індуктивного датчика

Необхідно обрати датчик, який дасть можливість перетворювати лінійні переміщення об'єкту в електричний сигнал. До таких відносяться датчики лінійних переміщень, які працюють на різноманітних принципах, один з них – індуктивний.

Індуктивні датчики використовують для вирішення задач автоматизованої системи управління. Для вимірювання величини зносу обрано датчик лінійних вимірювань серії LGB Серія 542 (рис. 2.9), який дозволить забезпечити високу точність для всього діапазону вимірювань за рахунок фотоелектричної шкали та довгий термін служби завдяки лінійним шарикопідшипникам.



Рисунок 2.9 – Індуктивний датчик

Технічні характеристики:

Діапазон виміру	0 – 10 мм
Вимірююче зусилля	0,8Н
Ціна ділення	0,001 мм
Крок сигналу	4 мкм
Довжина кабелю	2 м
Джерело живлення	5 В (від 4,5 до 5,2 В), макс. 80мА
Вихідний сигнал	диференційний
Умови довкілля	від 0 ° С до 40 ° С
Тип опори	лінійний шарикопідшипник

2.8 Розробка схеми реєстрації вимірювання

Датчик працює поки безперервно переміщується сердечник, що виробляє мікронапруги, які і зчитує підсилювач, передає сигнал на АЦП, а той на комп'ютер. Тип АЦП - це пристрій фірми L-Card марки E14-140 (пристрій має 16 каналів аналогових входів і 2 цифрових виходу). Програма для безперервного зчитування й обробки інформації, збереження її і обробки - це L-Graph фірми L-Card. Спеціально для обробки сигналів з АЦП фірми L-Card.

Принцип дії (Рис. 2.10): підсилювач сигналу подає деяку напругу на датчик, вважає його постійною величиною, при щонайменшій зміні сигналу - дані надходять на АЦП в аналоговому вигляді (напруга в мВ). Аналоговий сигнал перетворюється в цифровий, який йде вже на комп'ютер, на комп'ютері в реальному часі видно дані (за допомогою програмного забезпечення), які можна зберегти, роздрукувати.

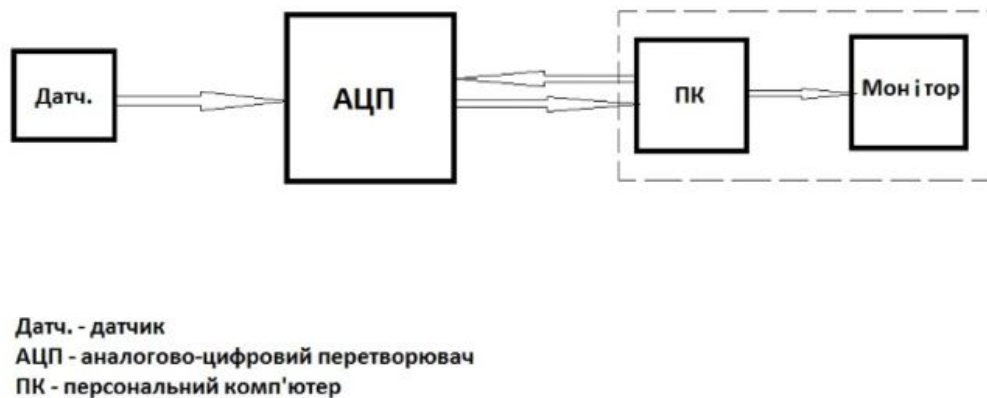


Рисунок 2.10 – Принципіальна схема датчик- АЦП

Переміщення лопатки здійснюється 2-ма передачами гвинт-гайка ковзання, вали приводяться в рух кроковими двигунами постійного струму. Будь-які траєкторії переміщення лопатки зводяться за послідовним узгодженням реакцій двигунів на сигнали, що надходять на них. Тому траєкторію руху, в тому числі і дискретну (по точкам з інтервалами), можна задати будь-яку за допомогою введення і редагування програмного коду в системі управління кроковими двигунами. Введення і запам'ятовування програмних кодів системи реалізується за допомогою написання останнього на ЕОМ (ПК) і записи його безпосередньо в пам'ять системи управління.

Тарування даних:

Для тарування необхідний кубик-еталон з розміром, який відповідає точному розміру бандажної полиці; з точністю відповідною кінцевим мірами довжини. Еталон повинен кріпитися поруч з лопаткою, за допомогою еталона виставляється нуль датчика, (отримані дані вважаються нульовою лінією на ЕОМ).

Як перспективу розвитку і вдосконалення пристрою всього в цілому - можна запропонувати доведення його до повного автоматизму.

З боку апаратної частини:

- 1) автоматизувати підведення / відведення индентора датчика;
- 2) об'єднати управління зчитуванням і переміщеннями в єдину систему.

З боку програмної частини:

1) узгодити переміщення лопатки (управління вже 3-ма двигунами) зі спрацьовуваннями датчика в момент затримки двигунів;

2) розробити програмне забезпечення на початковому етапі для збору конкретних даних-чисел в конкретних точках, знаходження середнього значення відхилень, пов'язаних із зносом, а в подальшому і управління переміщеннями, їх коригування, яка могла б бути доступна для простого користувача без знання мови програмування;

3) розробка або синхронізація програмного забезпечення для обробки знятих показань, вибудовуванні поверхні в середовищі САПР 3D-модельовання та порівняння її з еталонною поверхнею, аналізі зон і конкретних точок, в яких знос відбувається з різною інтенсивністю.

2.8 Розробка програми вимірювання лінійного зносу з використанням пристрою

Розроблена програма для вимірювання лінійного зносу робочої лопатки турбіни в 3-х координатах(X, Y, Z) на базі програмування свердлильного верстата, де у якості робочого органу виступає індуктивний датчик.

Робочий орган із початкової точки підходить до бандажної полиці та за схемою роботи датчика (рис.2.11) виконує почергове вимірювання в 10 точках на заданій відстані (рис. 2.12). Циклограма переміщень приведена на Рис. 2.3.



Рисунок 2.11 – Схема роботи датчика

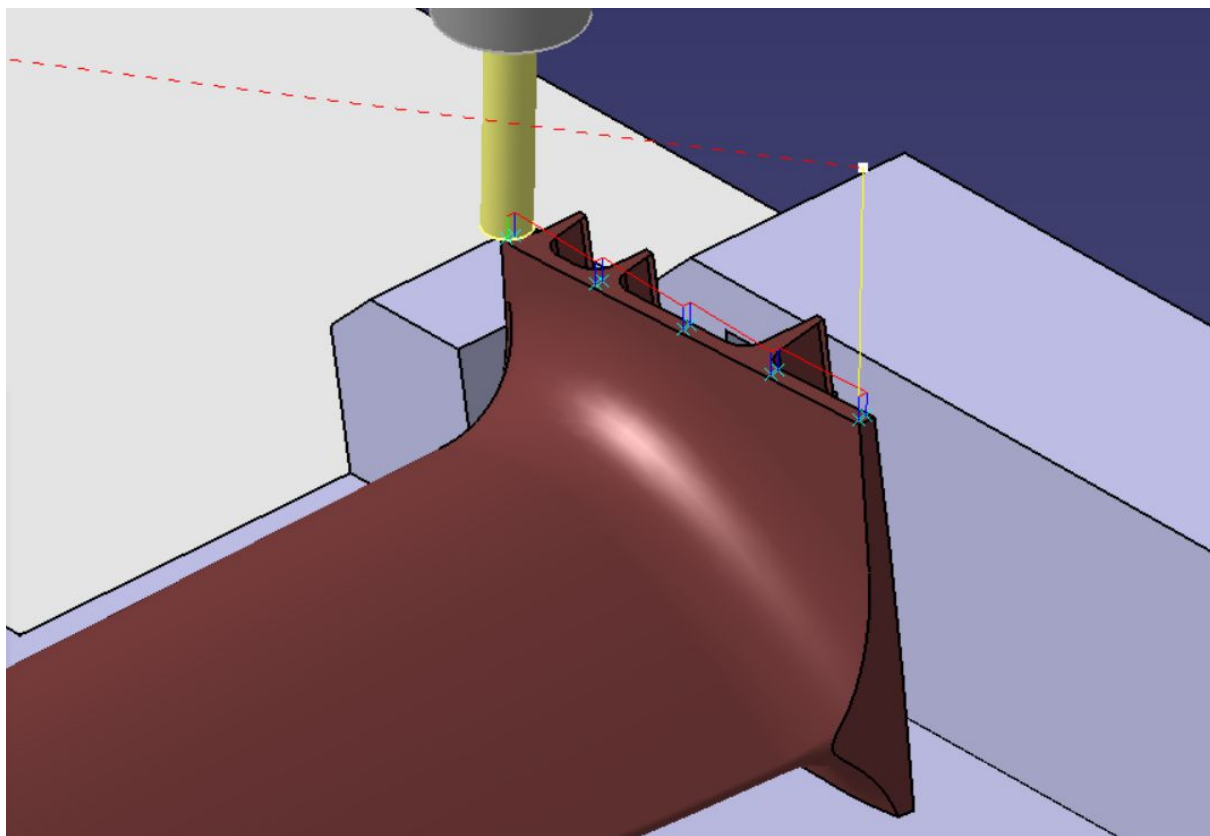


Рисунок 2.12 – Імітація вимірювання

Програма вимірювання надана в Додатку А.

2.10 Розрахунки деталей на міцність

2.10.1 Розрахунок гвинта [6]

Розрахунок гвинта в з'єднанні ГГК на міцність.

Вихідні дані: гвинт Tr8; матеріал гвинта – сталь 45; $\sigma_p = 180$ МПа; $Q = 560$ Н;
 $M_p = 180$ Н · м.

Так як тіло гвинта одночасно піддається стиску (або розтягування) і кручення, то, згідно з енергетичною теорії, умова міцності гвинта записується так (2.9):

$$d_1 = \sqrt{\sigma_{сж}^2 + 3\tau_k^2} \leq [\sigma_p] \quad (2.9)$$

Звідси:

$$\sigma_{сж} = \frac{4Q}{\pi d_1^2} \quad (2.10)$$

$$\tau_k = \frac{M_p}{0.2d_1^2} \quad (2.11)$$

де Q – осьова сила;

d_1 – внутрішній діаметр різьби;

$[\sigma_p]$ – допустиме напруження на розтягнення;

M_p – момент сил в різьбі.

Згідно ГОСТ 24705-81 внутрішній діаметр різьби Tr8 дорівнює $d_1 = 6,92$ мм, тоді знаходимо:

$$\sigma_{сж} = \frac{4 \cdot 560}{3,14 \cdot 6,92} = 103,1 \text{ МПа}$$

$$\tau_k = \frac{180}{0,2 \cdot 6,92} = 130,1 \text{ МПа}$$

Виходячи з цього, Виконуємо перевірочний розрахунок гвинта на міцність за розрахунковою осьовою силою $Q_{расч} = 1,3Q$ за умовою (2.12):

$$\sigma_{экв} = \frac{4Q_{расч}}{\pi d_1^2} \leq [\sigma_p] \quad (2.12)$$

$$\sigma_{экв} = \frac{4 \cdot (1,3 \cdot 560)}{3,14 \cdot 6,92} \leq 180 \text{ МПа}$$

Умова витримується.

2.10.2 Розрахунок довговічності підшипників [7]

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр підшипника	d	8	мм
Зовнішній діаметр підшипника	D	16	мм
Ширина підшипника	B	5	мм
Радіус монтажно́ї фаски підшипника	r	0,4	мм
Статистична вантажопідйомність	C0	710	Н
Динамічна вантажопідйомність	C	1600	Н

Довговічність підшипників [14] виражається в $L_{10}h$ (робочі години) (2.13).

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (2.13)$$

де L_{10} – номінальний ресурс, млн. об.

C – динамічне навантаження підшипника, Н.

P – Еквівалентна динамічне навантаження на підшипник, Н.

p – показник ступеня ресурсу, для шарикопідшипників $p = 3$.

При постійній частоті обертання підшипника (2.14):

$$L_{10}h = \frac{1000000}{n \cdot 60} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (2.14)$$

Тоді:

$$L_{10}h = \frac{1000000}{180 \cdot 60} \cdot \left(\frac{1600}{200}\right)^3 = 47407 \text{ год}$$

Довговічність підшипників із заданим навантаженням відповідає довговічності в 50000 год.

Висновки до розділу

1. Проведено аналіз розмірної точності робочої лопатки турбіни за результатами якої було виявлено, що деталь нетехнологічна, адже має складу форму, високу точність, низьку оброблюваність та ін.
2. Визначені похибки установки лопатки в пристрій по полиці хвостовик та полиці бандажа, завдяки чому була розрахована загальна похибка.
3. Розроблено механізм переміщення з'єднання гвинт-гайка, з вибором матеріалів та підшипників.
4. Запропоновано схему зажиму лопатки, яка позбавить лопатку всіх ступенів свободи, і тим самим, надійно зафіксує деталь в приладі.
5. Підібрано кроковий двигун, який забезпечить за один імпульс обертання на необхідний кут; індуктивний датчик, який з високою точністю забезпечить вимірювання лінійного зносу.
6. Розроблена схема реєстрації вимірювання, за якою встановлена послідовність процесу вимірювання.
7. Розроблена програма вимірювання лінійного зносу з використанням пристрою.

3 МАТЕРІАЛИ ЗАЯВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПАТЕНТУ НА СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ

Для подання заявки необхідно виконати наступні пункти:

3.1 Визначення величини лінійного зносу бандажних полиць лопаток турбіни по робочому колесу з урахуванням розсіювання розмірів полиці

Серійні лопатки

Для вимірювання лінійного зносу робочих лопаток турбін ГТД було використано серійні лопатки першої ступені 0365402009-05 з двигуна Д-36 з розміром бандажної полки 15,5_{-0,04}. Розмір комплекту: 59 штук.

Основним способом отримання інформації для аналізу точності є вимірювання, тобто експериментальне визначення різних показників, в нашому випадку – вимірювання величини зносу робочої лопатки турбіни ГТД.

Вимірювання та аналіз лінійного зносу комплекту правих лопаток

Отримані результати виміру для правої лопатки заносимо до Додатку Б, таблиці Б-1. Виходячи з отриманих даних, згідно додатку Б, результати вимірювань комплектуються на періоди:

I 0 (7)

II 0,01 – 0,02 (25)

III 0,02 – 0,03 (15)

IV 0,03 – 0,04 (6)

V 0,04 -0,05 (6)

Та будується гістограма та розподіл ймовірностей (рис. 3.1):

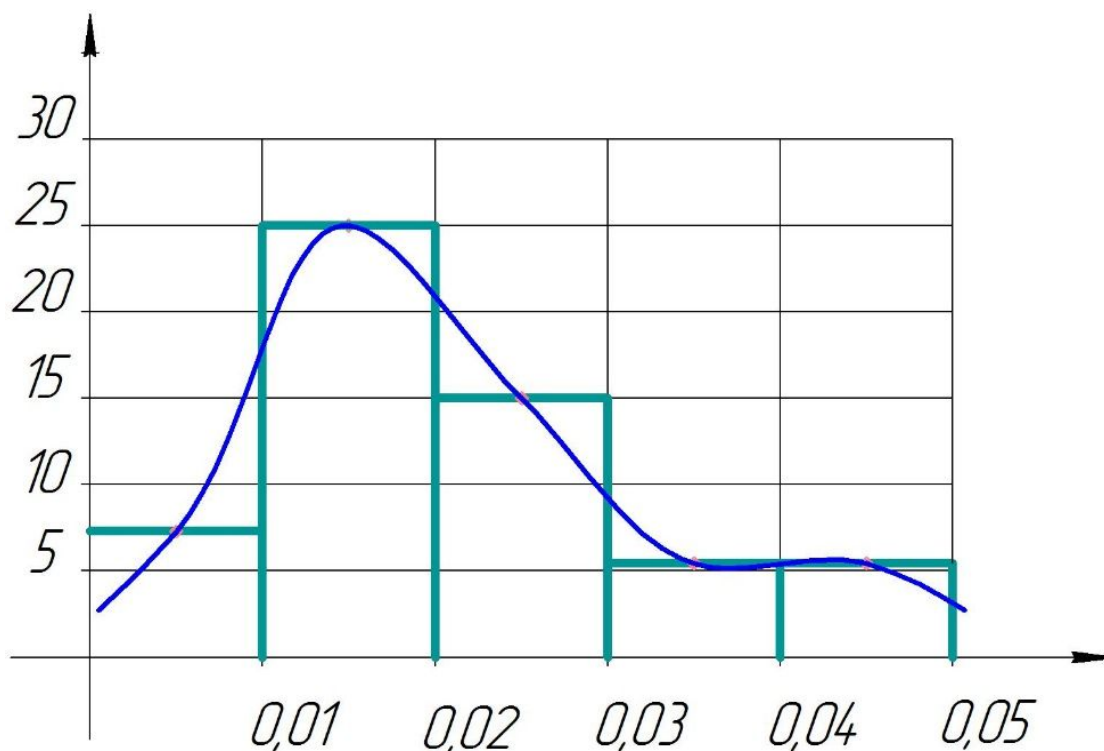


Рисунок 3.1 – Гістограма та розподіл ймовірностей

Виходячи з отриманого розподілу ймовірностей отримано закон ексцентриситету (закон Релея). За [13] цим законом розподіляються похибки форми і взаємного розташування – биття, не перпендикулярність, ексцентриситету і таке інше $\omega=3,44\sigma$.

По отриманим величинам лінійного зносу бандажних полок визначали значення математичного очікування, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнт варіації [15].

Сукупність випадкових величин можна вважати відомою, коли відомо, яких значень ці випадкові величини набувають та які частоти чи ймовірності появи цих значень. Відносною частістю якогось явища, чи частістю якогось значення випадкової величини, похибки, є відношення (3.1):

$$p_j = \frac{m_j}{n} \quad (3.1)$$

де m_j – кількість випадків появи явища чи появи певного значення випадкової величини;

n – загальна кількість випробувань чи загальна кількість випадків;

p_j – частість, відносна кількість випадків, похибок в j -ому інтервалі;

$j = 1, 2, 3 \dots$, номер інтервалу.

$$p_0 = \frac{7}{59} = 0,12$$

$$p_{0,03} = \frac{6}{59} = 0,1$$

$$p_{0,01} = \frac{25}{59} = 0,42$$

$$p_{0,04} = \frac{4}{59} = 0,07$$

$$p_{0,02} = \frac{15}{59} = 0,25$$

$$p_{0,05} = \frac{2}{59} = 0,04$$

Для оцінки точності математичного сподівання вводиться два параметри:

- середнє арифметичне ($\bar{x}$) – центр групування або розсіяння випадкових величин (3.2):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6}{n} \quad (3.2)$$

$$\bar{x} = \frac{0,15}{59} = 0,003$$

- середнє квадратичне відхилення (σ) – міра розсіяння випадкової величини відносно центра групування або міра розсіяння відхилень (3.3):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_i - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.3)$$

$$\sigma = \sqrt{0,000067} = 0,0082$$

Отримавши значення середньо-арифметичного і середньоквадратичного відхилення, знаходимо математичне сподівання (3.4):

$$M(x) = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (3.4)$$

$$M(x) = 0 \cdot 0,12 + 0,01 \cdot 0,42 + 0,02 \cdot 0,25 + 0,03 \cdot 0,1 + 0,04 \cdot 0,07 + \\ + 0,05 \cdot 0,04 = 0,017$$

Коефіцієнт варіації (3.5) – характеризує величину розсіяння відносно самих значень:

$$V = \frac{\sigma}{M} \quad (3.5)$$

$$V = \frac{0,0082}{0,017} = 0,48 \cdot 100\% = 48\%$$

Вимірювання та аналіз лінійного зносу комплекту лівих лопаток

Отримані результати виміру для правої лопатки в додатку В, таблиця В-1.

Виходячи з отриманих даних, згідно додатку В, результати вимірювань комплектують на періоди та будується гістограма та розподіл ймовірностей (рис. 3.2):

I 0 (10)

II 0,01 – 0,02 (18)

III 0,02 – 0,03 (10)

IV 0,03 – 0,04 (10)

V 0,04 -0,05 (10)

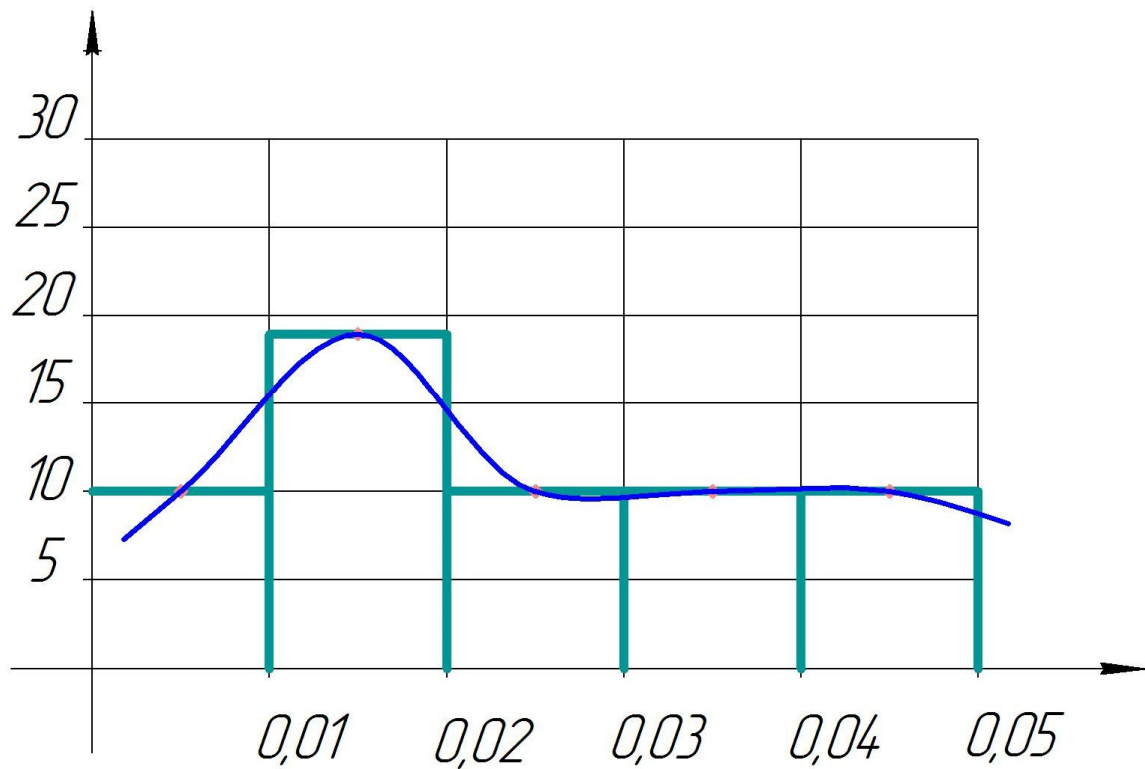


Рисунок 3.2 – Гістограма та розподіл ймовірностей

Виходячи з отриманого розподілу ймовірностей було отримано закон ексцентриситету (закон Релея), як і при аналізуванні правої лопатки.

Відносною частістю якогось явища, чи частістю якогось значення випадкової величини, похибки, є відношення (3.1):

$$p_0 = \frac{10}{59} = 0,17$$

$$p_{0,01} = \frac{18}{59} = 0,32$$

$$p_{0,02} = \frac{10}{59} = 0,17$$

$$p_{0,04} = \frac{10}{59} = 0,17$$

$$p_{0,05} = \frac{10}{59} = 0,17$$

Для оцінки точності математичного сподівання вводиться два параметри:

- середнє арифметичне ($\bar{x}$) – центр групування або розсіяння випадкових величин (3.2):

$$\bar{x} = \frac{0,17}{59} = 0,002$$

- середнє квадратичне відхилення (σ) – міра розсіяння випадкової величини відносно центра групування або міра розсіяння відхилень (3.3):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(0,03 - 0,002)^2 + (0,04 - 0,002)^2}{59}} = \sqrt{0,00004} = 0,007$$

Отримавши значення середньо-арифметичного и середньоквадратичного відхилення, знаходимо математичне сподівання (3.4):

$$M(x) = 0 \cdot 0,17 + 0,01 \cdot 0,32 + 0,02 \cdot 0,17 + 0,03 \cdot 0,17 + 0,04 \cdot 0,17 = 0,019$$

Коефіцієнт варіації (3.5):

$$V = \frac{0,007}{0,019} = 0,37 \cdot 100\% = 37\%$$

Визначення номінального розміру з урахуванням закону розподілу

Після визначається закону розподілу розмірів [13] (за одержаним графіком), вираховується номінальний розмір, від якого відліковується величина зносу, для закону ексцентриситета, відлік зносу йде не від нижньої границі поля допуску, а від розміру $B_{n\sigma}$, який вираховується з виразу (3.6):

$$B_{n\sigma} = B_{n\max} - 1,72\sigma \quad (3.6)$$

Таблиця 3.1 – Номінальний розмір з урахуванням закону розподілу

Номінальний розмір правої лопатки	Номінальний розмір лівої лопатки
$B_{n\sigma} = 15,5 - 1,72 \cdot 0,007 = 15,488$	$B_{n\sigma} = 15,5 - 1,72 \cdot 0,0089 = 15,485$

тоді величина зносу знаходиться (3.7):

$$h_{\text{л}} = B_{n\sigma} - B_{\text{нзн}} \quad (3.7)$$

де $B_{n\max}$ – найбільший розмір ширини полиці;

σ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини (розміру);

Розрахункові дані занесені до Додатку Д, таблиці Д.1.

Застосування цього способу значно підвищить точність визначення зносу, що забезпечує можливість точності визначення ресурсу роботи лопатки; точності визначення величини зазору між бандажними полицями, який суттєво впливає на динамічне навантаження в зоні контакту, а відповідно і на напружено-деформований стан лопатки.

Ремонтні лопатки

Для вимірювання лінійного зносу робочих лопаток турбін ГТД було використано ремонтні лопатки другої ступені з двигуна АИ-25 з розміром бандажної полки 12,69-0,04. Розмір комплекту: 55 штук.

Аналогічно виконуємо вимір величини лінійного зносу без урахування робочих лопаток турбіни. Отримані дані зводимо до таблиці 3.2:

Таблиця 3.2 – Величина зносу від номінально розміру

Права лопатка		Ліва лопатка	
1	2	3	4
0,07	0,1	0,15	0,01
0,06	0,08	0,06	0,11
0,15	0,06	0,1	0
0,13	0,1	0,1	0,06
0,1	0,25	0,07	0,2
0,09	0,08	0,27	0,2
0,06	0,24	0,04	0,06
0,05	0,13	0,04	0,05
0,08	0,08	0,15	0,08
0,1	0,06	0,3	0,05
0,14	0,18	0,09	0,18
0,09	0,08	0,07	0
0,04	0,13	0,15	0,07
0,2	0,23	0,16	0,05
0,15	0,15	0,1	0,08
0,12	0,2	0,11	0,07
0,11	0,08	0,1	0,03
0,16	0,08	0,12	0,1
0,08	0,16	0,05	0,07
0,07	0,13	0,14	+0,02
0,05	0,03	0,03	0,06

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
0,1	0,05	0,06	0,03
0,15	0,07	0,04	0,06
0,05	0,15	0,06	0,06
0,08	0,08	0,08	0,08
0,13	0,18	0,06	0,08
0,09	0,08	+0,02	0,03
0,08		0,05	

Як і для серійних розраховуємо величини зносу шляхом віднімання від номінально розміру бандажної полки отриманих даних. Та зводимо результати до таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 – Періоди розмірів полки в комплекті

Період	Права лопатка	Ліва лопатка
I	-0,02 – 0 (4)	0...0,5 (5)
II	Більше 0 – 0,05 (14)	Більше 0,05 – 0,1 (27)
III	Більше 0,05 – 0,1 (25)	Більше 0,1 – 0,15 (13)
IV	Більше 0,1 – 0,15 (8)	Більше 0,15 – 0,2 (7)
V	Більше 0,15 – 0,2 (4)	Більше 0,2 – 0,25 (3)

Побудова за отриманими даними гістограми рис. 3.3 і 3.4 для правих та лівих лопаток робочих лопаток турбіни дає змогу визначити закон розподілу.

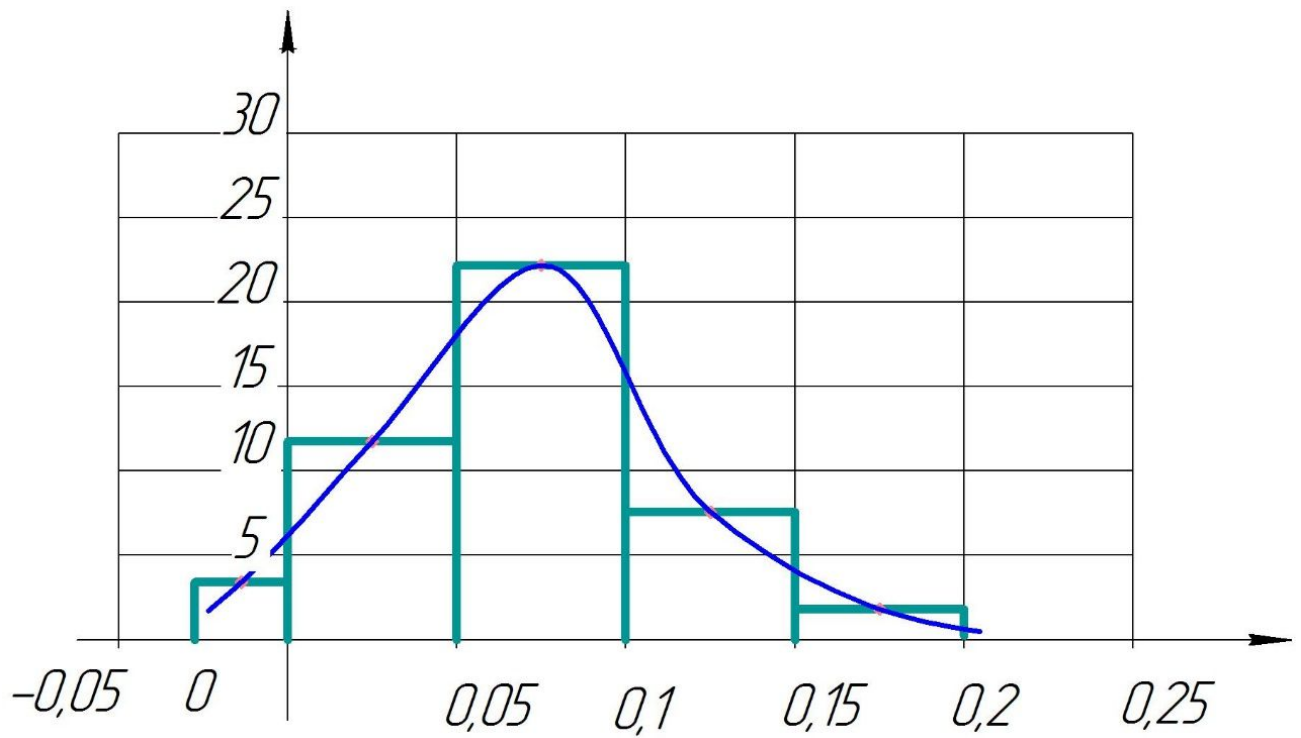


Рисунок 3.3 - Гістограма та розподіл ймовірностей

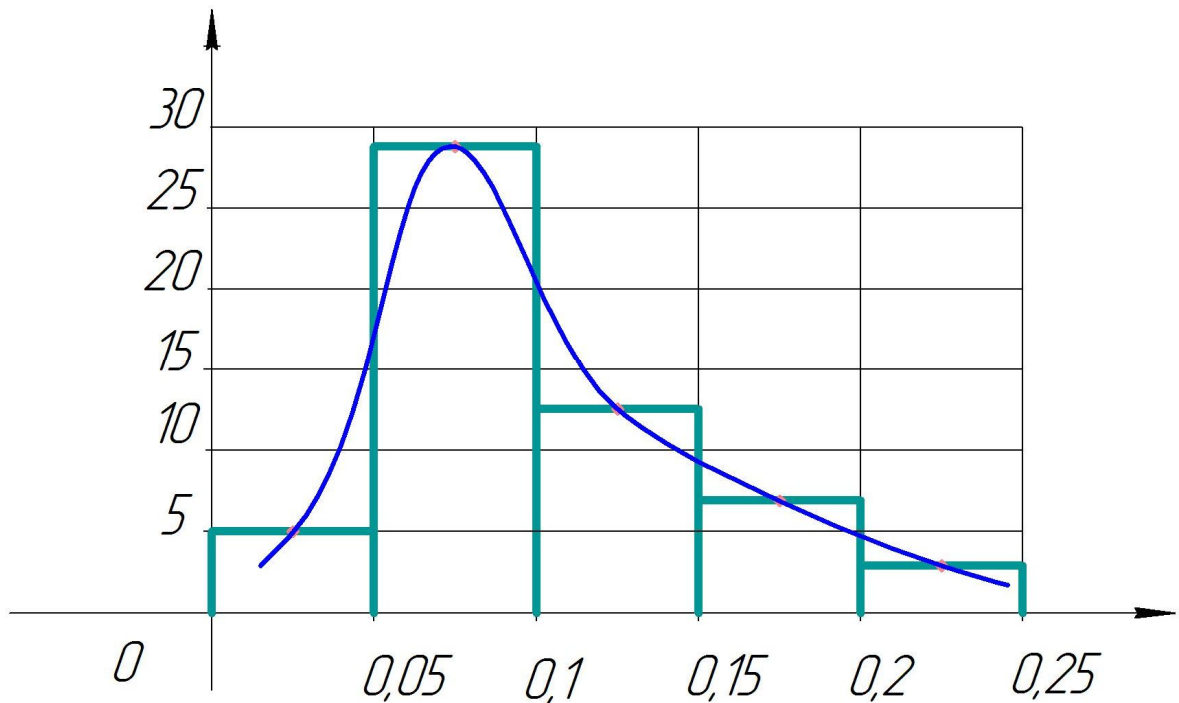


Рисунок 3.4 - Гістограма та розподіл ймовірностей

Виходячи з отриманого розподілу ймовірностей, як і при розрахунку серійних лопаток, було отримано закон ексцентриситету (закон Релея). За [13] цим законом розподіляються похибки форми і взаємного розташування – биття, не перпендикулярність, ексцентриситету і таке інше $\omega=3,44\sigma$.

Частість значення випадкової величини [15](відношення загальної кількості випадків до кількості випробувань):

Таблиця 3.4– Розрахунок відносної частоти

Відносна кількість випадків	
Права лопатка	Ліва лопатка
$p_{-0,02} = \frac{4}{55} = 0,075$	$p_0 = \frac{5}{55} = 0,09$
$p_0 = \frac{14}{55} = 0,25$	$p_{0,05} = \frac{27}{55} = 0,49$
$p_{0,05} = \frac{25}{55} = 0,45$	$p_{0,1} = \frac{13}{55} = 0,24$
$p_{0,1} = \frac{8}{55} = 0,15$	$p_{0,15} = \frac{7}{55} = 0,13$
$p_{0,2} = \frac{4}{55} = 0,075$	$p_{0,2} = \frac{3}{55} = 0,05$

Для оцінки точності математичного сподівання вводиться два параметри:

- середнє арифметичне ($\bar{x}$) – центр групування або розсіяння випадкових величин (3.8):

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6}{n} \quad (3.8)$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.5:

Таблиця 3.5 – Середнє арифметичне випадкової величини

Права лопатка	Ліва лопатка
0,007	0,009

- середнє квадратичне відхилення (σ) – міра розсіювання випадкової величини відносно центра групування або міра розсіювання відхилень (3.9):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_i - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.9)$$

Заносимо дані розрахунків до таблиці 3.6:

Таблиця 3.6 – Середнє квадратичне відхилення

Права лопатка	Ліва лопатка
0,03	0,035

Отримавши значення середньо-арифметичного и середньоквадратичного відхилення, знаходимо математичне сподівання (3.10):

$$M(x) = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (3.10)$$

Отримані значення заносимо до таблиці 3.7:

Таблиця 3.7 – Математичне сподівання

Права лопатка	Ліва лопатка
0,05	0,08

Розраховуємо коефіцієнт варіації за формулою (3.11):

$$V = \frac{\sigma}{M} \cdot 100\% \quad (3.11)$$

Отримані результати заносимо до таблиці 3.8:

Таблиця 3.8 – Коефіцієнт варіації

Права лопатка	Ліва лопатка
0,6=60%	0,44 = 44%

Вираховуємо номінальний розмір, від якого відліковується величина зносу, для закону ексцентриситета, відлік зносу йде не від нижньої границі поля допуску, а від розміру $B_{n\sigma}$, який вираховується з виразу (3.12):

$$B_{n\sigma} = B_{n\max} - 1,72\sigma \quad (3.12)$$

Таблиця 3.9 – Номінальний розмір з урахуванням закону розподілу

Номінальний розмір правої лопатки	Номінальний розмір лівої лопатки
$B_{n\sigma} = 12,69 - 1,72 \cdot 0,007 = 12,678$	$B_{n\sigma} = 12,69 - 1,72 \cdot 0,009 = 12,675$

тоді величина зносу знаходиться (3.13):

$$h_{\text{л}} = B_{n\sigma} - B_{\text{нзн}} \quad (3.13)$$

де $B_{n\max}$ – найбільший розмір ширини полиці;

σ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини (розміру);

Результати розрахунків заносимо до таблиці Ж.1.

Отримані залежності [2] математичного очікування і коефіцієнта варіації лінійного зносу бандажних полок робочих лопаток турбіни від часу експлуатації лопаток, відновлених по ремонтній технології і серійних лопаток. З розрахунків

виходить, що залежність математичного очікування в часі несе зростаючий характер і характеризується тим, що до 1000 годин роботи двигуна бандажні полки без наплавки мають незначний знос, що не перевищує 0,02 мм. Після 1000 годин наробітки спостерігається різке зростання зносу, яке визване утратою захисного слою. Інтенсивний знос після 1000 годин наробітки пояснюється тим, що з її ростом відбувається посилення умов роботи бандажних полок. По мірі зростання зазору і ударних навантажень, з'являється втомлююче пошкодження поверхонь.

3.2 Вибір та аналіз аналога

Відомий спосіб виміру лінійного зносу [4] дозволяє вимірювати знос кожного зразка, так як безперервно вимірюється сумарний лінійний знос зразків. Один зразок зважується до і після випробувань, визначається його масовий знос з наступним переводом в лінійний. Потім визначається лінійний знос другого зразка.

Недоліком цього рішення є: великі затрати часу на визначення масового зносу зразку, та переведення отриманого значення в лінійну величину для визначення лінійного зносу.

3.3 Вибір та аналіз прототипу

Прототипом вибраний існуючий спосіб виміру лінійного зносу [3], при якому випробувальний зразок встановлюють на машину, до контрзразку прикладають навантаження, включають привід, в результаті чого відбувається знос зразку. При цьому визначають розподіл по формулі Герца та будують графік залежності тиску по ширині канавки зносу. Далі порівнюють графік тиску по ширині канавки зносу і графік зносу по ширині канавки зносу та будують графік залежності зносу від тиску.

Недоліком цього рішення є: низька точність вимірювання величини зносу та значні затрати часу на його виконання, за рахунок вимірювань та порівнянь графіків залежності.

3.4 Опис способу вимірювання

В основу корисної моделі поставлено завдання створення способу вимірювання зносу, з урахуванням закону розподілу розмірів зразків в межах допуску на їх виготовлення, з мінімальними затратами часу та підвищеною точністю.

Поставлене завдання вирішується тим, що випробувальний зразок встановлюють на машину та зношують, при цьому, згідно з винаходом, використовують комплект зразків, які зношують по черзі, та вимірюють знос, на підставі вимірів будують графік і, в залежності від отриманого закону, визначають номінальний розмір, відхиленням від якого і буде величина зносу.

Саме визначення номінального розміру, в залежності від отриманого закону розподілу, при одержанні величини лінійного зносу матеріалів, дозволяє з більшою точністю визначати лінійний знос, задля надійного і точного функціонування. Даний спосіб дозволить підвищити точність вимірювання з меншими затратами часу на його виконання.

Таким чином, нові ознаки при взаємодії з відомими ознаками забезпечують виявлення нових технічних властивостей - шляхом конструктивно-технологічних удосконалень виробу, розроблений спосіб, дозволяючий більш точно визначати ресурс роботи деталі, задля надійного і точного функціонування.

Це забезпечує усій заявленій сукупності ознак відповідність критерію «новизна» та приводить до нових технічних результатів.

Аналоги, які містять ознаки, що відрізняється від прототипу, не знайдені, рішення явним чином не впливає з рівня техніки. Виходячи з вищевикладеного можна зробити висновок, що запропоноване технічне рішення задовольняє критерію «Винахідницький рівень».

Ідея винаходу пояснюється кресленням , де на рис. 3.5 зображено схема розрахунку полки робочої лопатки турбіни.

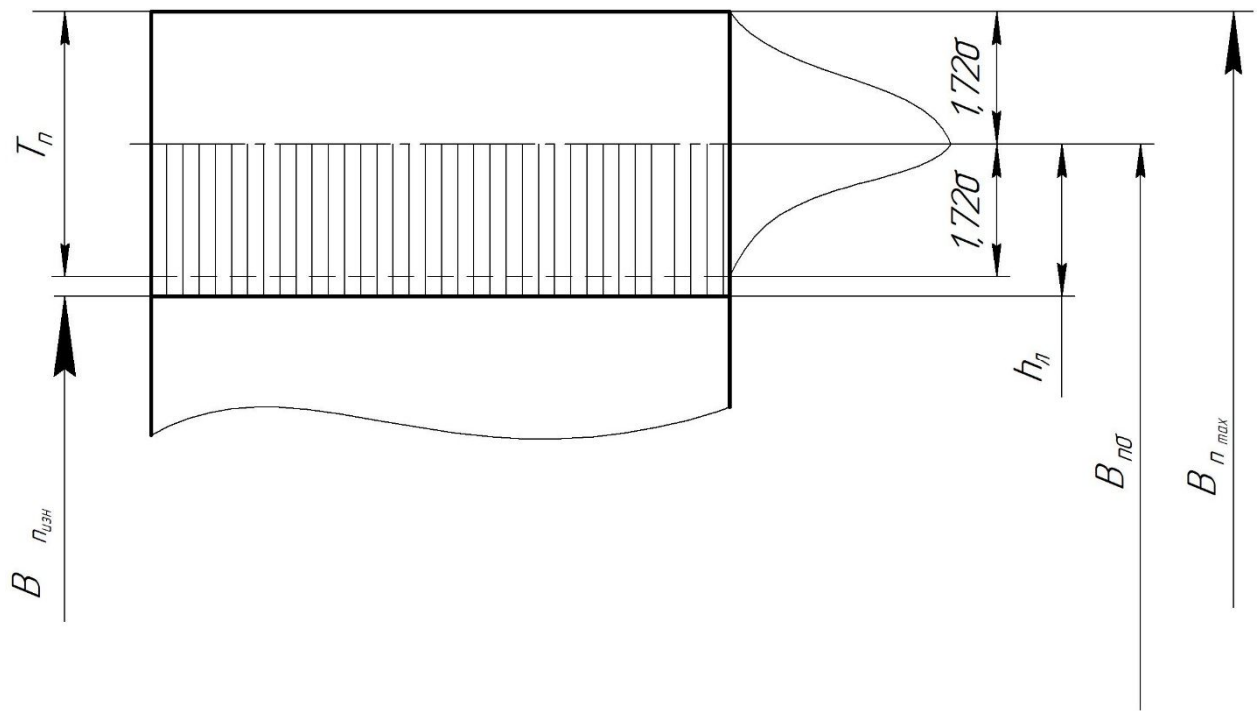


Рисунок 3.5 - Схема розмірів полки робочої лопатки турбіни

Спосіб працює наступним чином. Комплект зразків зношують по черзі. Вимірюють знос та будують графік і на підставі отриманих даних визначають закон розподілу, згідно з яким вираховується номінальний розмір, від якого виліковується величина зносу.

Так, наприклад, для нормального закону розподілу розмірів (закону Гаусса), відлік зносу йде не від нижньої границі поля допуску, а від розміру $B_{n\sigma}$, який вираховується з виразу (3.14):

$$B_{n\sigma} = B_{n\max} - 3\sigma \quad (3.14)$$

де $B_{n\max}$ – найбільший розмір ширини полиці;

σ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини (розміру);

І, тоді величина зносу знаходиться (3.15):

$$h_{\text{л}} = B_{n\sigma} - B_{n_{\text{зн}}} \quad (3.15)$$

$h_{\text{л}}$ – лінійний знос полиці;

$B_{n_{\text{зн}}}$ – розмір зношеної полиці;

Крім нормального закону розподілу випадкових величин [15] часто використовуються:

- закон рівної ймовірності (3.16):

$$B_{n\sigma} = B_{n_{\text{max}}} - 1,73\sigma \quad (3.16)$$

- закон трикутника (Сімпсона) (3.17):

$$B_{n\sigma} = B_{n_{\text{max}}} - 2,45\sigma \quad (3.17)$$

- закон ексцентриситета (закон Релея) (3.18):

$$B_{n\sigma} = B_{n_{\text{max}}} - 1,72\sigma \quad (3.18)$$

Приклад здійснення способу. На випробувальний стенд встановлюють комплект лопаток (59 штук). Після випробування виконується вимір ширини бандажної полки комплекту та розрахунок величини зносу від номінального розміру.

Отримані результати розподіляють по групам, і, в залежності від кількості випадків, будується графік залежності.

На підставі отриманих даних визначається закон розподілу, згідно з яким вираховується номінальний розмір, від якого відліковується величина зносу.

Знаходимо величину зносу полиці від номінального розміру для комплекту лопаток:

$$\text{Перша лопатка: } B_n = 15,5, B_d = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

...

$$\text{П'ятдесят дев'ята лопатка } B_n = 15,5, B_d = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03.$$

де B_n – номінальний розмір полиці;

B_d – дійсний розмір полиці;

Δ – величина зносу.

Розподіляємо отримані дані по групах (табл. 3.11), будуємо графік залежності:

Таблиця 3.11 – Частоти і інтервали вимірювання

	m_j (частота)	d_j (інтервал)
I	0-0,01	7
II	0,01 – 0,02	25
III	0,02 – 0,03	15
IV	0,03 – 0,04	6
V	більше 0,04	6

Згідно графіку можна зробити висновок, що в даному випадку для розрахунку величини зносу будемо використовувати закон ексцентриситета (закон Релея).

Розраховуємо номінальний розмір з урахуванням закону Релея:

$$B_{n\sigma} = 15,5 - 1,72 \cdot 0,0089 = 15,485$$

Виходячи з цього, знаходимо величину зносу для комплекту лопаток:

$$\text{Перша лопатка } 15,485 - 15,5 = 0,015 \dots$$

$$\text{П'ятдесят дев'ята лопатка } 15,485 - 15,49 = 0,005$$

Використання способу дозволить підвищити: точність визначення ресурсу роботи лопатки, величини зазору між бандажними полицями, яка суттєво впливає на динамічне навантаження в зоні контакту, а відповідно і на напружено-деформований стан лопатки. Усе це дозволяє зробити висновок, що технічне рішення, яке заявляється задовольняє критерію "Промислове застосування".

3.5 Формула можливого винаходу

Спосіб визначення лінійного зносу матеріалів, який полягає у тому, що випробувальний зразок встановлюють на машину та зношують, який відрізняється тим, що використовують комплект зразків, які зношують по черзі, та вимірюють знос, на підставі вимірів будують графік і в залежності від отриманого закону визначають номінальний розмір, відхиленням від якого і буде величина зносу.

Висновки до розділу

Визначення величини лінійного зносу бандажних полиць робочих лопаток турбін виконано для серійних лопаток, та лопаток, поступивших із експлуатації – ремонтних. По отриманим величинам визначено значення математичного очікування, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнт варіації. За отриманими даними побудовано графіки та визначено закон розподілу, в результаті чого розрахований номінальний розмір, від якого відліковується величина зносу, відлік зносу йде не від нижньої границі поля допуску, а від розрахункового розміру.

Виконано аналіз прототипу і аналогу, завдяки чому було визначено недоліки існуючих способів, задля удосконалення способу виміру лінійного зносу можливим винаходом. В додатку Ж представлена розписка про спосіб одержання заявки на корисну модель.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Основними потенційними небезпеками при виконанні робіт в дослідницькій лабораторії є:

- небезпека ураження електричним струмом, внаслідок недотримання правил електробезпеки або виходу з ладу приладу для вимірювання лінійного зносу;
- порушення роботи кістково-м'язового апарату внаслідок тривалих навантажень при обробці отриманих даних по зносу зразків за допомогою ПК;
- нервово-психічні перевантаження внаслідок тривалого контакту з колегами по роботі, керівництвом при вирішенні робочих питань, які можуть носити конфліктний характер, та призвести до нервової нестабільності;
- недостатнє освітлення робочого місця, як наслідок погіршення зору;
- незадовільні температурні параметри повітряного середовища дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну,
- негативний вплив підвищеного рівня шуму на психоемоційний стан працюючого, який пов'язаний з використанням застарілої периферійної техніки, кондиціонерів, освітлювальних приладів;
- небезпека загоряння у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки;
- неправильні дії фахівців у надзвичайних ситуаціях.

4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Для виключення можливого ураження електричним струмом персоналу, в роботі передбачено:

- організаційні заходи (проведення навчання з правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу з електробезпеки, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»);

- технічні вимоги (враховуючи, що електроживлення електрообладнання приміщення з ПК здійснюється від мережі змінного струму напругою 220В і частотою 50Гц, відповідно до вимог «ПУЕ-2014», електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000В, тому згідно вимог розділу 1.7 «ПУЕ» та ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом).

Заходи з охорони праці користувачів ПК згідно Державним санітарним правилам і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин" ДСанПіН 3.3.2.007-98. До складу ДСанПіН 3.3.2.007-98 .

Вимоги до виробничих приміщень для експлуатації ВДТ

Відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з електронними пристроями» потребують:

- об'ємно-планувальні рішення будівель та приміщень для роботи з ВДТ мають відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98;
- розміщення робочих місць з ВДТ ЕОМ і ПЕОМ у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах заборонено;
- площа на одне робоче місце становить не менше ніж 6,0 м², а об'єм - не менше ніж 20,0 м³ ;
- рекомендовані розміри столу для робочого місця з ВДТ становлять: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм. Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм.

Найкраще розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами вздовж стіни з вікнами. Це дасть змогу унеможливити дзеркальне відбиття на екрані ВДТ джерел природного світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи.

На рис. 4.1 наведено план приміщення з комп'ютеризованими робочими місцями.

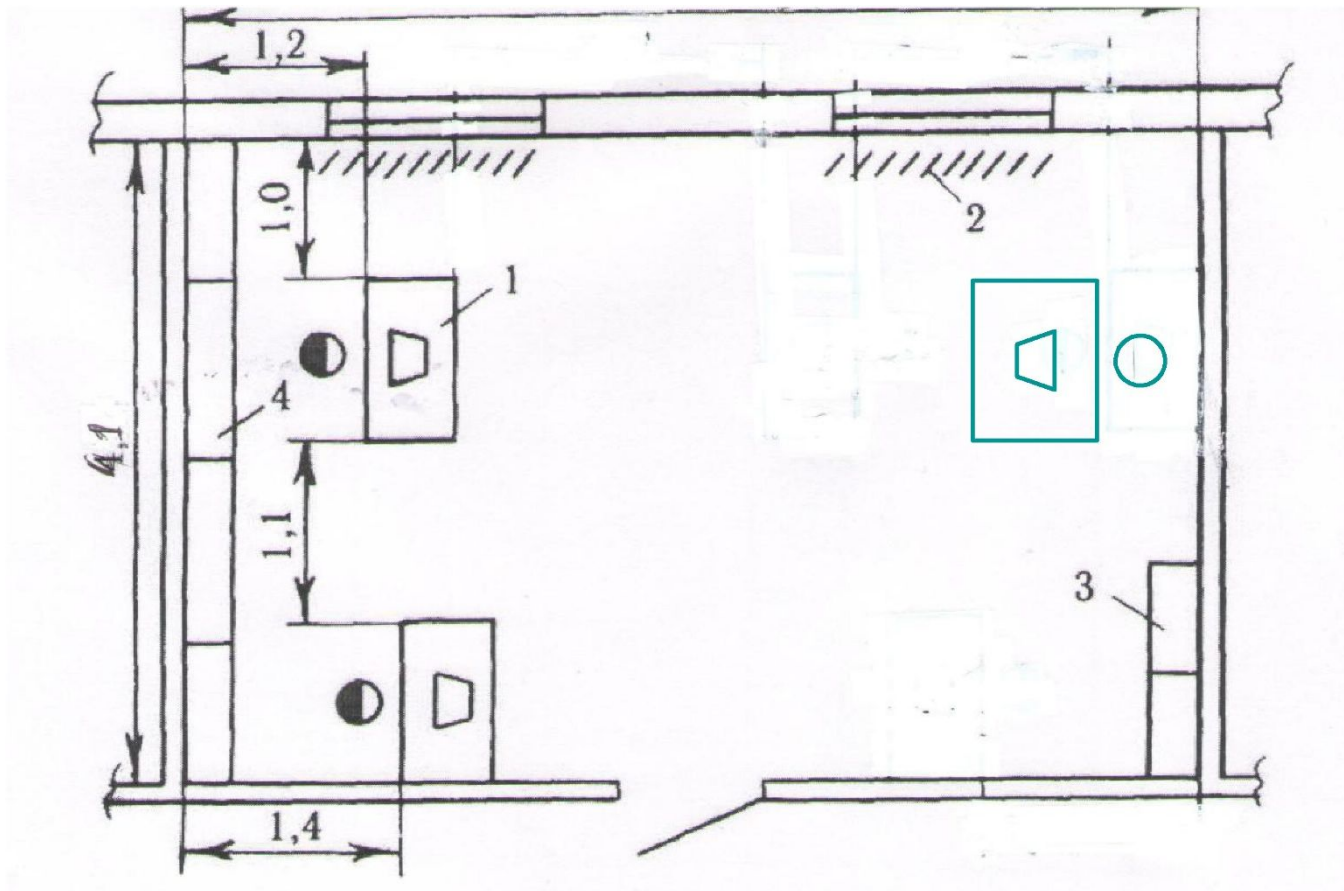


Рисунок 4.1 – План приміщення з кон комп'ютеризованими робочими місцями

- приміщення для роботи з ВДТ повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче, ніж 1,5%. Виробничі приміщення повинні обладнуватись шафами для зберігання документів, магнітних дисків, полицями, стелажми, тумбами тощо, з урахуванням вимог до площі приміщень;

- у приміщеннях з ВДТ слід щоденно робити вологе прибирання. Приміщення з ВДТ мають бути оснащені аптечками першої медичної допомоги.

- при приміщеннях з ВДТ мають бути обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження.

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища включають вимоги до параметрів мікроклімату, освітлення, шуму і вібрації, рівнів електромагнітного та іонізуючого випромінювання.

У виробничих приміщеннях на робочих місцях з ВДТ [13] мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості й рухливості повітря (ГОСТ 12.1.005-88, СН 4088-86):

- штучне освітлення в приміщеннях з робочими місцями, обладнаними ВДТ має здійснюватись системою загального рівномірного освітлення. У виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях, у разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення, додатково встановлюються світильники місцевого освітлення);

- значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк. Якщо це неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення. При цьому світильники місцевого освітлення слід встановлювати таким чином, щоб не створювати бликів на поверхні екрана, а освітленість екрана має не перевищувати 300 лк;

- джерелами світла для штучного освітлення мають застосовуватись переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ. У разі влаштування відбитого освітлення у виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях допускається застосування металогалогенних ламп потужністю 250 Вт. Дозупускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення;

- значення напруженості електромагнітних полів на робочих місцях з ВДТ мають відповідати нормативним значенням (ГДР N 3206-85, ГДРИ 4131-86, СН N 5802-91, ГОСТ 12.1.006-84);

- інтенсивність потоків інфрачервоного випромінювання не має перевищувати допустимих значень, відповідно до ДСН 3.3.6.042-99;

-інтенсивність потоків ультрафіолетового випромінювання не повинна перевищувати допустимих значень, відповідно до СН 4557-88;

- потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 0,05м від екрана та корпусу відеотермінала при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв не повинна перевищувати 0,1 мбер/год (100 мкР/год).

- показники мікроклімату в офісних приміщеннях відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень». Робота в дослідницькій лабораторії , належать до категорії Іб - легка робота, тому встановлені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

у холодний період року: температура 21-23°C;

- відносна вологість: 40-60%;

- швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

у теплий період року:

- температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%;

- швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

- оптимальні рівні позитивних (n+) і негативних (n-) іонів у повітрі приміщення з ПК нормовані згідно ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становлять: n+=1500-30000 (шт. на 1см³); n- = 3000-5000 (шт. на 1см³); підтримка оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечено за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

Дотримання вимог цих документів досягається оснащенням приміщень і транспортних засобів пристроями кондиціонування і вентиляції, дезодорації повітря, опалювання згідно вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

- рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у приміщення нормуються згідно ДСанПіН 3.3.2.007-

98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою:

- використання більш сучасного обладнання;
- розташування принтерів на значній відстані від більшості робочих місць працівників.

4.4 Заходи з пожежної системи

При виникненні пожежі на початковій стадії виділяється тепло, токсичні продукти згорання, можливі обвалення конструкцій. Тому слід враховувати необхідність евакуації людей у визначені терміни. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого люди можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлі загалом. Безпека евакуації досягається тоді, коли тривалість евакуації людей в окремих приміщеннях і будівлях загалом не перевищує критичної тривалості пожежі, яка становить небезпеку для людей.

Критичною тривалістю пожежі є час досягнення при пожежі небезпечних для людини температур і зменшення вмісту кисню у повітрі.

Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть:

- з приміщень першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;
- з приміщень будь-якого поверху, крім першого, в коридори, що ведуть сходову клітку (в тому числі через хол); при цьому сходові клітки повинні мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відділений від прилеглих коридорів перегородками з дверима;
- з приміщень в сусіднє приміщення на цьому ж поверсі, забезпечене виходами, вказаними вище.

Евакуаційні виходи повинні розташовуватися розосереджено.

Максимальна віддаль l між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами з приміщення визначається за формулою (4.1):

$$l = 1,5 \cdot P \quad (4.1)$$

де P — периметр приміщення, м.

Число евакуаційних виходів повинно бути не менше двох. Двері на шляхах евакуації повинні відчинятися в напрямку виходу з будівель (приміщень). Допускається влаштування дверей з відчиненням усередину приміщення в разі одночасного перебування в ньому не більше 15 чоловік. При наявності людей у приміщенні двері евакуаційних виходів можуть замикатись лише на внутрішні запори, котрі легко відмикаються. Мінімальна ширина шляхів евакуації — не менше 1 м, дверей — 0,8 м. Віддаль від найвіддаленішої точки цеху або приміщення до евакуаційного виводу визначається згідно зі СНиП 2.09.02-85 залежно від ступеня вогнестійкості приміщення та кількості людей, що евакуюються. Не допускається влаштування евакуаційні виходи через приміщення категорії А, Б та приміщення IV та V ступенів вогнестійкості.

На видних місцях будівлі та приміщень (як правило, в коридорах та проходах, біля виходів з приміщень), вивішуються плани евакуації.

На прикладі було розглянуто план евакуації (Рис. 4.2) загальною площею — 90 м². На другому поверсі розташовані: технологічне бюро, кабінет начальника та заступника цеха, та інші кабінети офісного типу.

Комплекс протипожежних заходів технологічного бюро обладнаному ПК з ВТД:

- згідно «Класифікація пожеж ДСТУ EN 2:2014 (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні (технологічного бюро) обладнаному ПК і ВТД можлива пожежа класу — А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів).
- Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухонебезпечною та пожежною

небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної безпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (технологічне бюро) обладнане ПК з ВТД належить до категорії «Д» з пожежної безпеки, тому згідно вимог ДНБ В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості (знаходяться тверді горючі речовини та матеріали [13]).

У разі виникнення пожежі приміщення (технологічного бюро) обладнаному ПК з ВТД для евакуації персоналу відповідно до вимог ДНБ В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи по обидві сторони приміщення. Відстань від найвіддаленішого робочого місця до найбільшого евакуаційного виходу з приміщення безпосередньо назовні або на сходову клітку не повинна перевищувати значень, регламентованих СНиП 2.09.02-85. Згідно п.2.29 (табл.2) максимальна допустима відстань від найвіддаленішого робочого місця до евакуаційного виходу з приміщення не обмежується.

4.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях [16]

Ядерні вибухи в атмосфері й більш високих шарах призводять до виникнення потужних електромагнітних полів з довжиною хвиль від 1 до 1000 м і більше. Ці поля через короткочасне існування називають електромагнітним імпульсом (ЕМІ). ЕМІ виникає при ядерному вибусі у воєнний час, у мирний час — при випробуванні ядерної зброї або ядерних аваріях і катастрофах в атмосфері й космосі.

Основною причиною виникнення ЕМІ тривалістю менше 1 с вважають взаємодію гамма-променів і нейтронів ядерного вибуху з атомами газів повітря, внаслідок чого з них вибиваються електрони (ефект Комптона) і хаотично розлітаються в середовищі позитивно заряджених атомів газів. Важливе значення має також виникнення асиметрії в розподілі просторових електричних зарядів, пов'язаних з особливостями поширення гамма-променів і утворення електронів.

Гамма-промені, які випускаються із зони вибуху в напрямі поверхні землі, поглинаються в більш щільних шарах атмосфери, вибиваючи з атомів повітря швидкі електрони, які летять у напрямку гамма-променів зі швидкістю світла, а позитивні іони (залишки атомів) залишаються на місці. У результаті поділу і переміщення

позитивних і негативних зарядів у цій області й у зоні вибуху, а також при взаємодії зарядів з геомагнітним полем Землі утворюються елементарні й результуючі електричні та магнітні поля ЕМІ, які досягають поверхні землі в зоні радіусом кількох сотень кілометрів. Виникають сильні поперечні токи і утворюється подібність великої "плоскої антени", яка випромінює потужний ЕМІ з часом наростання порядна 10 не і тривалістю більше 230 не; зі смугою частот від 10 кГц до 100 МГц. Залежно від висоти ядерного вибуху за інших однакових умов змінюються характер, інтенсивність ЕМІ і дальність його поширення.

При наземному і низькому повітряному вибуху уражаюча дія НМІ спостерігається на відстані кількох кілометрів від центру вибуху. Під час ядерного вибуху на висотах від 3 до 25 км утворюється симетричне джерело генерації, але радіус поширення ЕМІ залишається обмеженим внаслідок сильного поглинання гамма-випромінювання в щільних шарах атмосфери.

Найбільшу уражаючу дію має ЕМІ, що виникає при екзоатмосферному вибуху (більше 40 км). Зі збільшенням висоти вибуху збільшується і район джерела генерації ЕМІ, досягаючи в діаметрі тисячі кілометрів і товщини 20—40 км. Так, під час вибуху на висоті 80 км

ЕМІ буде поширюватися на площі радіусом 960 км, а під час вибуху на висоті 160 км — на площі радіусом 1400 км. Екзоатмосферний ЕМІ характеризується дуже малим часом наростання (декілька сот наносекунд), високою інтенсивністю електричного поля (більше 50 кВ/хв) і магнітного поля (близько 130 А/хв). Розряд блискавки порівняно з ЕМІ має значно більшу тривалість зростання і спаду (5—300 мке), створює дуже потужні поля (близько 100 кВ/хв), несе значно більшу енергію, але спектр частот становить близько 10 МГц, тоді як для ЕМІ він більше — 100 МГц. Пікове значення ЕМІ може досягти 50 000 В/хв, що дорівнює всій енергії яка випромінюється в радіочастотній частині спектра.

Частотні характеристики ЕМІ і форми хвиль показані на рис. 4.2. Уражаюча дія ЕМІ обумовлена виникненням напруги і струмів у провідниках різної довжини, розміщених у повітрі, землі.

ЕМІ захвачують спектр частот від десятків до кількох сотень мегагерц, тобто діапазон, в якому працюють установки електропостачання, зв'язку і радіолокації. Напруженість електромагнітного поля, створюваного ЕМІ, досягає 50 000 В/м, тоді як у радіолокації вона не перевищує 200 В/м, а у зв'язку — 10 В/м.

У серпні 1958 р. у момент заатмосферного термоядерного вибуху, проведеного США над островом Джонсон, на Гавайях, які знаходяться за 1000 км від епіцентру вибуху, погасло освітлення на вулицях. Це сталося в результаті дії ЕМІ на повітряні лінії електропередач, які відіграли роль протяжних антен.

Величина ЕМІ залежно від ступеня асиметрії вибуху може бути різною — від десятків до сотень кіловольт на метр антени, тоді як чутливість звичайних УДК-приймачів становить кілька десятків або сотень мікровольт. Так, у разі наземного вибуху потужністю 1 Мт напруженість поля на відстані 3 км становить близько 50 кВ/м, а на відстані 16 км — 1 кВ/м. А у разі заатмосферного вибуху такої ж потужності напруженість поля становитиме тисячі кіловольт на метр площі в кілька тисяч квадратних кілометрів земної поверхні.

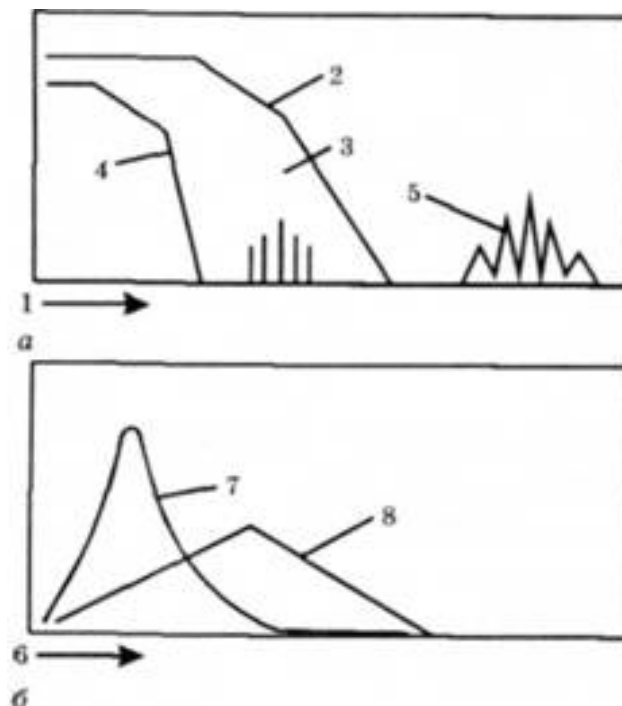


Рисунок 4.2 - Характеристика ЕМІ

а — порівняння частотних характеристик: 1 — частота; 2 — ЕМІ; 3 — засоби зв'язку; 4 — розряд атмосферної блискавки; 5 — радіолокатори; 6 — порівняння форм хвилі: 6 — час; 7 — ЕМІ; 8 — розряд атмосферної блискавки

Час наростання ЕМІ до максимального становить кілька мільярдних частинок секунди, що значно менше часу спрацьовування відомих електронних систем захисту. Це значить, що в момент приходу ЕМІ чутливе електронне обладнання одержить дуже велике перевантаження, протистояти якому воно не зможе.

Параметри ЕМІ залежать від потужності й висоти вибуху, а також відстані від епіцентру вибуху. При вибухах над атмосферою на висоті понад 100 км мегатонного діапазону створюються ЕМІ, які охоплюють своєю дією велику територію, багато тисяч квадратних кілометрів.

Магнітні й електричні поля ЕМІ характеризуються напруженістю поля. У динаміці імпульс ЕМІ — це швидко затухаючий коливний процес з кількома квазіпівперіодами.

Уражаюча дія ЕМІ в приземній області й на землі пов'язана з акумулюванням його енергії довгими металевими предметами, рамними і каркасними конструкціями, антенами, лініями електропередачі та зв'язку, в них виникають сильні наведені струми, які руйнують підключене електронне та інше чутливе устаткування. У районі дії ЕМІ безпосередній контакт людини зі струмопровідними предметами небезпечний.

ЕМІ уражає радіоелектронну і радіотехнічну апаратуру. В провідниках індукуються високі напруги і струми, які можуть призвести до постійних або тимчасових пошкоджень ізоляції кабелів, відключення реле і переривників, пошкодження елементів зв'язку, магнітних запам'ятовуючих пристроїв у ЕОМ і системах передачі даних тощо. Найбільш уразливими елементами обладнання є напівпровідникові прилади — транзистори, діоди, кремневі випрямлячі, інтегруючі ланцюги, цифрові процесори, управляючі й контрольні прилади. Чутливі до пошкодження ЕМІ транзистори звукової частоти, перемикаючі транзистори, інтегруючі ланцюги та ін.

Особливо чутливими до впливу ЕМІ є 6 основних груп об'єктів і систем:

- 1) системи передачі електроенергії: повітряні ЛЕП, кабельні лінії, різні види з'єднувальних ліній і повітряна електропроводка;

- 2) системи виробництва, перетворення і накопичення енергії: електростанції, генератори постійного і змінного струму, трансформатори, перетворювачі струмів і напруг, комутатори і розподільні пристрої, електричні батареї і акумулятори, паливні, сонячні й термоелементи;
- 3) системи регулювання і управління: електромеханічні й електронні датчики та інші елементи автоматики, комп'ютерні установки, мікропроцесори;
- 4) системи споживання електроенергії: електродвигуни і електромагнітні, нагрівальні, холодильні, вентиляційні, освітлювальні установки та кондиціонери;
- 5) системи електротяги: електроприводи, напівпровідникові та інші типи перетворювачів;
- 6) системи радіозв'язку, передачі, зберігання і накопичення інформації: антени, хвилеводи, коаксильні кабелі, електронні прилади, радіопередавачі, радіоприймачі, установки автономного електропостачання, змішувачі, телефонні апарати, телеграфні установки, заземлені кабелі й проводи, АТС.

Найбільш стійкі до ЕМІ вакуумні електронні прилади, які виходять із ладу при енергії 1 Дж. Величина енергії ЕМІ залежить від ширини періоду частот антенних систем.

Більшість систем зв'язку працюють у діапазоні частот від середніх до ультрависоких і будуть пошкодженими залежно від робочого періоду частот. Радіолокаційні системи менше пошкоджуються від ЕМІ, тому що вони працюють у періоді частот, де щільність енергії ЕМІ невелика. Іскріння, яке виникає під впливом високого електричного поля ЕМІ, може спричинити спалахування парів бензину та інших налив у сховищах.

Якщо ядерний вибух стався поблизу лінії електропостачання, зв'язку великої довжини, то наведені в них напруги можуть поширюватися по проводах на багато кілометрів, пошкоджувати апаратуру й уражати людей, які знаходяться на безпечній відстані відносно інших уражаючих факторів ядерного вибуху.

ЕМІ небезпечний і за наявності міцних споруд, розрахованих на стійкість проти ударної хвилі наземного ядерного вибуху, проведеного на відстані кількох сотень метрів.

Сучасний рівень знань про природу і властивості ЕМІ дає можливість розробити захист від нього і впровадити заходи захисту до яких входять схеми, стійкі до електромагнітної інтерференції, радіоелектронні елементи стійкі до ЕМІ, екранування окремих пристроїв або цілих електронних систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Авторское свидетельство СССР №151087, 1962, №20 Способ определения по разности замеров износа деталей машин.
2. Ивченко Л.И. Процессы контактного взаимодействия в трубосопряжениях и износостойкость жаропрочных сплавов в экстремальных условиях. / Дис. на соиск. уч. степ. доктор техн. наук, Запорожье, 1999. – 383с.
3. Патент РФ №2269762, МКВ G 01N 3/56. Спосіб виміру зносу матеріалів./ П.О. Акімкін, О.В. Сутягін (Тверський державний технічний університет). Опубл.:10.02.2006 Бюл.№4.
4. Патент РФ №2141107, МКВ G 01N 3/56. Спосіб виміру зносу зразків на машині тертя/ І.П. Семеренко, А.І. Горностаєв, В.А. Кургузов, А.А. Казаков, Н.І. Пшеничкін. (Військовий автомобільний інститут). Опубл.:10.11.1999.
5. Испытания на трение и износ. Методы и оборудование. / Ясь Д.С., Подмоков В.Б., Дяденко Н.С., Киев: Техника, 1971. – 39с.
6. Краткий справочник конструктора. / Гжиров Р.И. – Л: Машиностроение, 1983.
7. Решетов Д. Н. / Детали машин - М: Машиностроение, 1989. – 496 с.
8. Стандарт підприємств СТП 15-96. Пояснювальна записка до курсових і дипломних проектів. Вимоги і правила оформлення. ЗДТУ, 1996 – 36 с.
9. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Технологія машинобудування», для студентів напряму 6.050502. Спеціальності «Металообробні верстати та системи» усіх форм навчання / Сост.: А.В.Алексеев. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 86с.
10. Несущая способность лопаток газовых турбин при нестационарном тепловом и силовом воздействии / Третьяченко Г.Н., Кравчук С.В., Куриат Р.И., Волощенко А.П. – К.: Наукова думка, 1975. – 295с.
11. О потерях трения в бандажных полках лопаток турбин. / Попов К.М., Речкоблит А.Я. // Авиационная пром-сть. – 1984. - №10. – С.32 – 33.

12. Генкин Г.И., Зимин Л.А, Саатчан Г.С. Оценка допустимого местного зазора в стыках контактных граней бандажных полок рабочих лопаток турбины ГТД // авиационная промышленность. – 1986. - №2. - С. – 37 – 38.
13. Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці: Навч. посіб. — 4-те вид., допов. — Львів, 2000. — 350 с.
14. ГОСТ 18855-82. Подшипники качения. Расчет динамической грузоподъемности и долговечности.
15. Математический аппарат инженера. Сигорский В.П. М.: «Техника», 1975, 768с.
16. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист [Текст]: підручник. – К.: Знання – Прес, 200-487 с.

Додаток А

Програма для виконання вимірювання лінійного зносу робочої лопатки ГТД

%

(\$\$INIT=FIDIA_SPL.INT;)

N01G90F2000

N02G17

(D2. R0. L10.)

G00X-47471Y1642Z50681

G01Z40681F300

Z39681

Z40681

X-47872

Z39681

Z40681

X-47647Y-2858

Z39681

Z40681

N5X-47246

Z39681

Z40681

X-47422Y-7358

Z39681

Z40681

X-47021

Z39681

Z40681

X-47197Y-11858

Z39681

Z40681

X-46796

Z39681

Z40681

X-46972Y-16358

Z39681

Z40681

X-46571

Z39681

Z40681

G00Z50681F1000

(TIME 0.00H FOR FEED 531)

Додаток Б

Результати виміру для правої лопатки

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,4, \Delta = 15,5 - 15,45 = 0,05;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,45, \Delta = 15,5 - 15,45 = 0,05;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_A = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_d = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_d = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_d = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_d = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_d = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_d = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03.$$

де B_H – номінальна ширина бандажної полки лопатки ;

B_d – дійсна величина ширини бандажної полки;

Δ – величина зносу.

Таблиця Б.1 – Величина зносу від номінально розміру без урахування закону розподілу

0,01	0,02
0,01	0
0,01	0,01
0,01	0,04
0,02	0,02
0,01	0,01
0,01	0,02
0	0,02
0,02	0,03
0,01	0,01
0,01	0,02
0,03	0,01
0,01	0,04
0	0,05
0,04	0,01
0,05	0
0,01	0

0,02	0,02
0,01	0,03
0,01	0,02
0,01	0,02
0,02	0,02
0,02	0,01
0,01	0,01
0,01	0,02
0	0
0,03	0,01
0,03	0,01
0,01	0,03
0,04	

Додаток В

Отримані результати виміру для лівої лопатки

$$B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04;$$

$$\begin{aligned}
&B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03. \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,45, \Delta = 15,5 - 15,45 = 0,05; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02; \\
&B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03;
\end{aligned}$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,48, \Delta = 15,5 - 15,48 = 0,02;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,5, \Delta = 15,5 - 15,5 = 0;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,46, \Delta = 15,5 - 15,46 = 0,04;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,49, \Delta = 15,5 - 15,49 = 0,01;$$

$$B_H = 15,5, B_D = 15,47, \Delta = 15,5 - 15,47 = 0,03.$$

де B_H – номінальна ширина бандажної полки лопатки ;

B_D – дійсна величина ширини бандажної полки;

Δ – величина зносу.

Таблиця В.1 – Величина зносу від номінально розміру без урахування закону розподілу

0,04	0
0,02	0,03
0	0,02
0	0,01
0,01	0,04
0,03	0,02
0,02	0,03
0,02	0,04
0,02	0,01
0,02	0,01
0,01	0
0,03	0,04
0	0,01
0,01	0
0	0
0,01	0,05

0,01	0,02
0,04	0,01
0,03	0,01
0	0,04
0,03	0,02
0,04	0,03
0,01	0,01
0,04	0,02
0,03	0
0,01	0,04
0,04	0,01
0,03	0,01
0,01	0,03
0,01	

Додаток Д

Розрахунок величини зносу

Таблиця Д.1 – Розрахунок величини зносу

Права лопатка		Ліва лопатка	
1	2	3	4
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,46= 0,025	15,485-15,5= 0,015
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,5= 0,012	15,485-15,48= 0,005	15,485-15,47= 0,015
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,49= 0,002	15,485-15,5= 0,012	15,485-15,48= 0,005
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,46= 0,028	15,485-15,5= 0,012	15,485-15,49= 0,005
15,488-15,48= 0,008	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,49= 0,005	15,485-15,46= 0,025
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,49= 0,002	15,485-15,47= 0,015	15,485-15,48= 0,005
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,48= 0,005	15,485-15,47= 0,015
15,488-15,5= 0,012	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,48= 0,005	15,485-15,46= 0,025
15,488-15,48= 0,008	15,488-15,47= 0,018	15,485-15,48= 0,005	15,485-15,49= 0,005
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,49= 0,002	15,485-15,48= 0,005	15,485-15,49= 0,005
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,49= 0,005	15,485-15,5= 0,015
15,488-15,47= 0,018	15,488-15,49= 0,002	15,485-15,47= 0,015	15,485-15,46= 0,025
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,46= 0,028	15,485-15,5= 0,015	15,485-15,49= 0,005
15,488-15,5= 0,012	15,488-15,5= 0,012	15,485-15,49= 0,005	15,485-15,5= 0,015
15,488-15,46= 0,028	15,488-15,49= 0,002	15,485-15,5= 0,015	15,485-15,5= 0,015
15,488-15,45= 0,038	15,488-15,5= 0,012	15,485-15,49= 0,005	15,485-15,45= 0,035
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,5= 0,012	15,485-15,49= 0,005	15,485-15,48= 0,005

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4
15,488-15,48= 0,008	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,46= 0,025	15,485-15,49= 0,005
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,47= 0,018	15,485-15,47= 0,015	15,485-15,49= 0,005
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,5= 0,015	15,485-15,46= 0,025
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,47= 0,015	15,485-15,48= 0,005
15,488-15,48= 0,008	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,46= 0,025	15,485-15,47= 0,015
15,488-15,48= 0,008	15,488-15,49= 0,002	15,485-15,49= 0,005	15,485-15,49= 0,005
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,49= 0,002	15,485-15,46= 0,025	15,485-15,48= 0,005
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,48= 0,008	15,485-15,47= 0,015	15,485-15,5= 0,015
15,488-15,5= 0,012	15,488-15,5= 0,012	15,485-15,49= 0,005	15,485-15,46= 0,025
15,488-15,47= 0,018	15,488-15,49= 0,002	15,485-15,46= 0,025	15,485-15,49= 0,005
15,488-15,47= 0,018	15,488-15,49= 0,002	15,485-15,47= 0,015	15,485-15,49= 0,005
15,488-15,49= 0,002	15,488-15,47= 0,018	15,485-15,49= 0,005	15,485-15,47= 0,015
15,488-15,46= 0,028		15,485-15,49= 0,005	

Додаток Ж

Розрахунок величини зносу

Таблиця Ж.1 - Розрахунок величини зносу

Права лопатка		Ліва лопатка	
1	2	3	4
12,678-12,63= 0,048	12,678-12,69=-0,012	12,675-12,62= 0,055	12,675-12,63= 0,045
12,678-12,54= 0,138	12,678-12,63= 0,048	12,675-12,63= 0,045	12,675-12,59= 0,085
12,678-12,59= 0,088	12,678-12,49= 0,188	12,675-12,54= 0,135	12,675-12,44= 0,235
12,678-12,59= 0,088	12,678-12,49= 0,188	12,675-12,56= 0,115	12,675-12,61= 0,065
12,678-12,62= 0,058	12,678-12,63= 0,048	12,675-12,59= 0,085	12,675-12,45= 0,225
12,678-12,42= 0,258	12,678-12,64= 0,038	12,675-12,6= 0,075	12,675-12,56= 0,115
12,678-12,65= 0,028	12,678-12,61= 0,068	12,675-12,63= 0,045	12,675-12,61= 0,065
12,678-12,65= 0,028	12,678-12,64= 0,038	12,675-12,64= 0,035	12,675-12,63= 0,045
12,678-12,54= 0,138	12,678-12,51= 0,168	12,675-12,61= 0,065	12,675-12,51= 0,165
12,678-12,39= 0,288	12,678-12,69=-0,012	12,675-12,59= 0,085	12,675-12,61= 0,065
12,678-12,6= 0,078	12,678-12,62= 0,058	12,675-12,55= 0,125	12,675-12,56= 0,115
12,678-12,6= 0,078	12,678-12,64= 0,038	12,675-12,6= 0,075	12,675-12,46= 0,215
12,678-12,54= 0,138	12,678-12,61= 0,068	12,675-12,65= 0,025	12,675-12,54= 0,135
12,678-12,53= 0,148	12,678-12,62= 0,058	12,675-12,49= 0,185	12,675-12,49= 0,185
12,678-12,59= 0,088	12,678-12,66= 0,018	12,675-12,54= 0,135	12,675-12,61= 0,065
12,678-12,58= 0,098	12,678-12,59= 0,088	12,675-12,57= 0,105	12,675-12,61= 0,065
12,678-12,59= 0,088	12,678-12,59= 0,088	12,675-12,58= 0,095	12,675-12,53= 0,145

Продовження таблиці Ж.1

1	2	3	4
12,678-12,57= 0,105	12,678-12,71=-0,032	12,675-12,53= 0,145	12,675-12,56= 0,115
12,678-12,64= 0,038	12,678-12,63= 0,048	12,675-12,61= 0,065	12,675-12,66= 0,015
12,678-12,55= 0,128	12,678-12,66= 0,018	12,675-12,62= 0,055	12,675-12,64= 0,035
12,678-12,66= 0,018	12,678-12,63= 0,048	12,675-12,64= 0,035	12,675-12,62= 0,055
12,678-12,63= 0,048	12,678-12,63= 0,048	12,675-12,59= 0,085	12,675-12,54= 0,135
12,678-12,65= 0,028	12,678-12,61= 0,068	12,675-12,54= 0,135	12,675-12,61= 0,065
12,678-12,63= 0,048	12,678-12,61= 0,068	12,675-12,64= 0,035	12,675-12,61= 0,065
12,678-12,61= 0,068	12,678-12,66= 0,018	12,675-12,61= 0,065	12,675-12,6= 0,075
12,678-12,63= 0,048	12,678-12,58= 0,098	12,675-12,56= 0,115	12,675-12,61= 0,065
12,678-12,71=-0,032	12,678-12,68=-0,002	12,675-12,59= 0,085	12,675-12,51= 0,165
12,678-12,63= 0,038		12,675-12,61= 0,065	

