

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломний проект (роботу)

Дослідження впливу застосування надійності роботи машини вугільної АЕ
(вказати тему дипломного проекту (роботи))

Студент (ка) Лавик Ігор Сергійович

Спеціальність 131. Прикладна механіка
(код, найменування спеціальності)

Обсяг проекту новий

Кількість аркушів креслень всього склало 46 аркушів креслень

Кількість сторінок пояснювальної записки 93

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень

Аналіз умов експлуатації машини, в якій було розглянуто конструкцію машини, дослідження її функціонування та аналіз. Зокрема щодо підвищення ресурсу машини, зокрема праці

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню

Робота відповідає завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту (роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

Запропоновані заходи підвищення надійності з врахуванням досліджень як відомих, так і зареєстрованих передових технологій

г) негативні особливості виконання проекту (роботи)

Відсутність розрахунків необхідного навантаження при виконанні складних операцій з застосуванням машини, критичного

д) позитивні особливості

детально розглянуті конструкції машини, в якій було розглянуто

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи)

наведено загальне виконання з врахуванням нормативів

є) відгук про проект (роботу) загалом

Робота виконана в повній обсязі

ж) інші зауваження

Краще практичної акробати:
запропонованих захарів

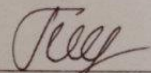
з) оцінка проекту (роботи)

В цілому робота задовільна
оцінка "Відмінно"

Рецензію склав

доц. канд. ТНБ "Пучковський Г. В.

(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

«10» грудня 2019 р.

[10:35:14] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №322 [3] (200033 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:35:34] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №327 [3] (200033 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:35:46] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №332 [3] (200042 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:35:55] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №337 [3] (200027 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:36:01] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №317 [3] (200038 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:36:11] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №342 [3] (200042 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:36:52] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №347 [3] (200035 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:37:30] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №352 [3] (200037 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:37:57] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №357 [3] (200009 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:38:09] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №362 [3] (200013 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:39:36] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №367 [3] (200049 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:39:51] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №372 [3] (200034 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:40:03] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №377 [3] (200034 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:43:46] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №382 [3] (200021 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:45:03] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №387 [3] (200053 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:45:14] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №392 [3] (200022 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[10:45:34] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №397 [3] (200038 миллисек.): Yandex
(Время ожидания операции истекло)

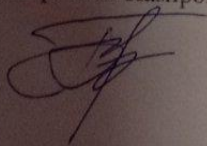
[10:45:35] Тип проверки: *Стандартная*

[10:45:35] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 28%)**

[10:45:35] **Уникальность текста 94%[©] (Проигнорировано подстановок: 0%)**

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Лелях І.С.,
провів зав. навч. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

10.12.2019р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, назва факультету)
Технології машинобудування
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

дружній машинобудівний
(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження шляхів зобов'язання можливості
роботи машинних вузлів авіаційних двигунів

Виконав: студент II курсу, групи М-118М
спеціальності (напряму підготовки)

131 "Примарна механіка"
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Лепях Ю.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Дедя С.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Пукловський Г.В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя

2019 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технології машинобудування
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 231 Прикладна механіка
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМБ
Дере С. І.
 « 10 » 12 2019 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Мелек Олі Сергійович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу забезпечення надійності роботи підшипникових вузлів авіаційних двигунів.

керівник проекту (роботи) Дере Сергій Іванович, доцент, к. т. н.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 26 » 11 2019 року № 417

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 01.12.2019

3. Вихідні дані до проекту (роботи) дослідити підшипники з вузлами авіаційних двигунів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз умов експлуатації підшипникових вузлів, розгляд конструкції підшипників, дослідження їх умов роботи та впливу, заходи щодо підвищення ресурсу надійності, охорона праці та безпеки в подібній ситуації.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) графічне представлення роботи у вигляді презентації

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1, 2, 3, 4	Деле С.І. зав. кафедр ТМБ	02.09.2019	05.10.2019
Охорона праці	Шмирко В.І. к.т.н., доц.	ВКС 4/10/19	ВКС 29/11/19
Корп. Констр	Винишко Максим Є.В. ст. викл.	10.12.19	10.12.19

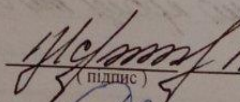
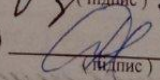
7. Дата видачі завдання « 02 » 09 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел	01.10.19	
2.	Визначення виду формувальних механізмів	01.11.19	
3.	Розробка механізмів щодо підвищення ефективності підприємств	17.11.19	
4.	Визначення розрахунку економічної ефективності	25.11.19	
5.	Оцінка праці та безпеки виробничих ситуацій	29.11.19	

Студент(ка)

Керівник проекту (роботи)


 (підпис)

 (підпис)

(прізвище та ініціали)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 94 с., 69 рис., 3табл., 1 додаток, 16 джерел.

Об'єкт дослідження – підшипники кочення авіаційних двигунів.

Мета роботи – дослідження шляхів забезпечення надійності роботи підшипникових вузлів авіаційних двигунів.

Методи дослідження – аналітично - експериментальний.

Підвищення надійності підшипникових вузлів, збільшення їх повного та міжремонтного ресурсу є актуальним у виконаній роботі.

При цьому було досліджено дефекти, які утворилися під час експлуатації через ті чи інші причини, запропоновані рекомендаційні заходи, які спрямовані на більш якісне складання та розбирання підшипникових вузлів, та на зменшення появи дефектів після експлуатації. Виконано економічний розрахунок на впроваджені заходи та визначено, що прийняті міри є актуальними.

ПІДШИПНИК, КОЧЕННЯ, РОЛИКИ, ШАРИКИ, СЕПАРАТОР, ВНУТРІШНЄ КІЛЬЦЕ, ЗОВНІШНЄ КІЛЬЦЕ, АВІАЦІЙНІ ДВИГУНИ, ПРИЧИНА, КОРОЗІЯ, ЗНОС, НАВАНТАЖЕННЯ, СЛІДИ КОЧЕННЯ, ДЕФЕКТ.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	7
Вступ	8
1 Теоретичні основи щодо призначення підшипників кочення в вузлах авіаційних двигунів	9
1.1 Підшипники кочення: конструкційні елементи та вимоги до них	9
1.2 Вибір посадок підшипників кочення при встановленні на вал та в корпус	17
1.3 Конструкції підшипникових вузлів в авіаційних двигунах	20
2 Дослідження ушкоджень підшипників під час експлуатації	29
2.1 Пошкодження, що виникли при прикладанні навантаження	29
2.1.1 Прикладання радіального навантаження	29
2.1.2 Прикладання осьового навантаження	35
2.1.3 Пошкодження при перекосі кілець	36
2.2 Пошкодження підшипників, що пов'язані з дією зовнішнього середовища	39
2.2.1 Корозія на деталях підшипників	39
2.2.2 Вплив абразивних частинок на підшипники	42
2.3 Пошкодження, що пов'язані з монтажем	43
2.4 Пошкодження, які пов'язані з системою змащення	47
3 Заходи щодо підвищення надійності підшипникових вузлів	50
3.1 Заходи, які направлені на підвищення ресурсу підшипників при пошкодженнях від навантажень	50
3.2 Заходи, які впливають на зменшення дії зовнішнього середовища	52
3.3 Заходи, які спрямовані на зменшення пошкоджень від монтажу	55
3.4 Заходи, щодо покращення умов змащення	61
3.5 Заходи, які спрямовані на підвищення якості виявлення дефектів підшипників	67
4 Визначення економічної ефективності від впровадження	

запропонованих заходів	71
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	74
5.1 Аналіз потенційних небезпек	74
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	77
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	80
5.4 Заходи з пожежної безпеки	82
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	85
Висновки	91
Перелік посилань	92
Додаток А Діаграма причини - результату	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АД – авіаційний двигун

ГТД – газотурбінний двигун

КВТ – компресор високого тиску

КНТ – компресор низького тиску

РТКУ – радіально-торцеве контактне ущільнення

ТГДУ – торцеве газо-динамічне ущільнення

ТКУ – торцеве контактне ущільнення

ВЧ – високочастотний

ВСТУП

Протягом усього технологічного прогресу та вдосконалення авіаційних двигунів підшипник кочення був та є одним із найважливіших комплектуючих вузлів в конструкції агрегату.

Існує велика кількість різноманітних підшипників кочення, але всі вони повинні відповідати висунутим необхідним вимогам, які задаються тим чи іншим вузлом двигуна.

Науково – технічний прогрес стрімко розвивається, з'являються нові матеріали, технології виробництва підшипникових вузлів, також все частіше зустрічається впровадження автоматизованого виробництва, що підвищує конкурентоспроможність виготовлених вузлів, знижує їх собівартість та підвищує якість.

Для підвищення якості та надійності підшипникових вузлів важливо на всіх етапах виробництва відповідально відноситися до виконання операцій.

Підвищення надійності підшипникових вузлів, збільшення їх повного та міжремонтного ресурсу є актуальною задачею.

Тому темою магістерської роботи є дослідження шляхів забезпечення надійності роботи підшипникових вузлів авіаційних двигунів.

Для її виконання необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) виконати огляд літературних джерел щодо конструктивних особливостей підшипникових вузлів авіаційних двигунів;
- 2) дослідити види дефектів, що виникають при експлуатації підшипникових вузлів авіаційних двигунів;
- 3) розробити заходи щодо підвищення надійності підшипникових вузлів авіаційних двигунів.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЩОДО ПРИЗНАЧЕННЯ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ В ВУЗЛАХ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

1.1 Підшипники кочення: конструкційні елементи та вимоги до них

У вітчизняній та закордонній науковій літературі існує багато фундаментальних робіт, де розглядається робота підшипників кочення як загальномашинобудівного, так і спеціального призначення.

А. В. Гайдамака [1] дав таке визначення підшипнику кочення – це основний вид опор валів та осей в машинах; їх функціонування відбувається переважно в умовах тертя кочення.

На думку А.К. Скуратовського [2] підшипники кочення – це елемент опор осей, валів та інших деталей, що працюють на використанні принципу тертя кочення, який складається із зовнішнього та внутрішнього кілець, тіл кочення і сепаратора. Внутрішнє кільце підшипника розміщують на валу або осі, а зовнішнє – у корпусі опори.

В.А.Сідоров та А.Л.Сотніков [3] казали, що підшипник – це вузол механізму або машини, який підтримує вал, забезпечуючи обертання або лінійне переміщення з мінімальним супротивом, який сприймає та передає навантаження від валу на корпусні деталі механізму або машини.

До переваг підшипників кочення відносяться:

- 1) значно менші втрати на тертя, й, відповідно, більш високий коефіцієнт корисної дії (до 0,995) та зменшений нагрів;
- 2) в 10...20 разів менший момент тертя при пуску машини;
- 3) менші габаритні розміри в осьовому напрямку;
- 4) можливість компенсувати перекіс валів;
- 5) простота обслуговування та заміни;
- 6) зменшені витрати змащувального матеріалу;
- 7) невисока вартість внаслідок масового виробництва стандартних підшипників.

До їх недоліків відносяться:

- 1) обмежена можливість застосування при дуже великих навантаженнях та високих швидкостях;
- 2) непридатність для роботи при значних ударних або вібраційних навантаженнях через високі контактні навантаження та погану здатність демпфувати коливання;
- 3) значні габаритні розміри в радіальному напрямку;
- 4) шум під час роботи, обумовлений похибками форм та розмірів деталей;
- 5) складність установки та монтажу підшипникових вузлів;
- 6) підвищена чутливість до неточності установки в підшипниковий вузол;
- 7) висока вартість при дрібносерійному виробництві унікальних за розмірами підшипників. [3]

Незважаючи на їх недоліки підшипники кочення широко використовують у конструкціях багатьох машин і, зокрема, в авіаційних двигунах.

Під час експлуатації авіаційних двигунів на підшипникові вузли діють основні напрямки сил, а саме:

- 1) радіальна сила, яка діє у напрямку перпендикулярному до вісі обертання підшипника;
- 2) осьова сила, яка діє у напрямку паралельному до вісі обертання підшипника.

Основними показниками якості підшипників кочення авіаційного призначення є: довговічність, клас точності, а також вібраційні характеристики.

Довговічність підшипників кочення складається з таких параметрів[], як:

1. Паспортна динамічна вантажопідйомність – незмінне навантаження протягом 1 млн. обертів без виявлення ознак втоми не менш, ніж у 90% підшипників.

2. Еквівалентне навантаження для радіальних та радіально-упорних підшипників – умовне постійне навантаження, яке при прикладанні на

підшипник забезпечує довговічність, що даний підшипник буде мати при дійсних умовах навантаження та обертання [4].

3. Надійність - властивість об'єкта авіаційної техніки зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. [5]

Точність обертання, точність форм і взаємного положення, та точність монтажних поверхонь є основними характеристиками такого поняття, як клас точності підшипника.

Точність обертання підшипника характеризується радіальним та осевим биттям зовнішнього та внутрішнього кілець.

Точність монтажних поверхонь визначається граничними відхиленнями по його основним розмірам: внутрішньому та зовнішньому діаметрам, ширини кілець.

Точність форм та взаємного положення поверхонь кілець підшипника характеризується наступними параметрами: биттям зовнішньої циліндричної поверхні зовнішніх кілець відносно торцю; биттям торцю внутрішніх кілець підшипників відносно отвору; непостійність діаметра та конусоподібність отворів внутрішніх кілець та зовнішньої циліндричної поверхні зовнішніх кілець.

Класи точності підшипників кочення відповідають ГОСТ 520-2011. В вузлах авіаційних двигунів встановлюють підшипники 0 та 6 класу.

В залежності від класу точності усі параметри, які його характеризують, мають різні відхилення від номінальних розмірів, які приведені в ГОСТ 520 - 2011.

Наступним основним показником якості підшипників кочення є його вібраційні характеристики, які включають в себе рівень вібрації, загальний рівень вібрації, вібраційний розряд підшипників та віброшвидкість [6].

Загальний рівень вібрації – вібрація у широкій полосі звукових частот, у котрій нижня гранична частота якої пропорційна частоті обертання

внутрішнього кільця підшипника, а верхня гранична частота дорівнює 10000 Гц.

Вібраційний розряд підшипників – сукупність вимог до вібраційних параметрів, які визначаються в залежності від типу, габаритів та конструктивного різновиду підшипників.

Встановлені наступні вібраційні розряди, в черзі підвищення вимог до параметрів вібрації: Ш, Ш1, Ш2, Ш3, Ш4, Ш5, Ш6, Ш7, Ш8. Підвищення вимог позначає зниження допустимих значень рівнів віброшвидкості у кожній полосі частот.

Відносно проста конструкція підшипників кочення пред'являє цілий ряд вимог до якості виготовлення його деталей та монтажу, забезпечуючи довготривалу безвідмовну роботу, як підшипника, так й вузла в цілому.

Класифікація підшипників кочення, які використовуються в авіаційних двигунах, здійснюється на основі наступних ознаках:

- 1) за видом тіл кочення: шарикові та роликові. Останні, в свою чергу, поділяються на наступні групи: з короткими та довгими циліндричними роликами; з конічними та сферичними роликами;
- 2) за типом сприйманого навантаження: радіальні, радіально-упорні, упорно-радіальні, упорні (рис. 1.2);
- 3) по кількості рядів тіл кочення: однорядні, дворядні, багаторядні (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Різновиди підшипників по кількості рядів тіл кочення

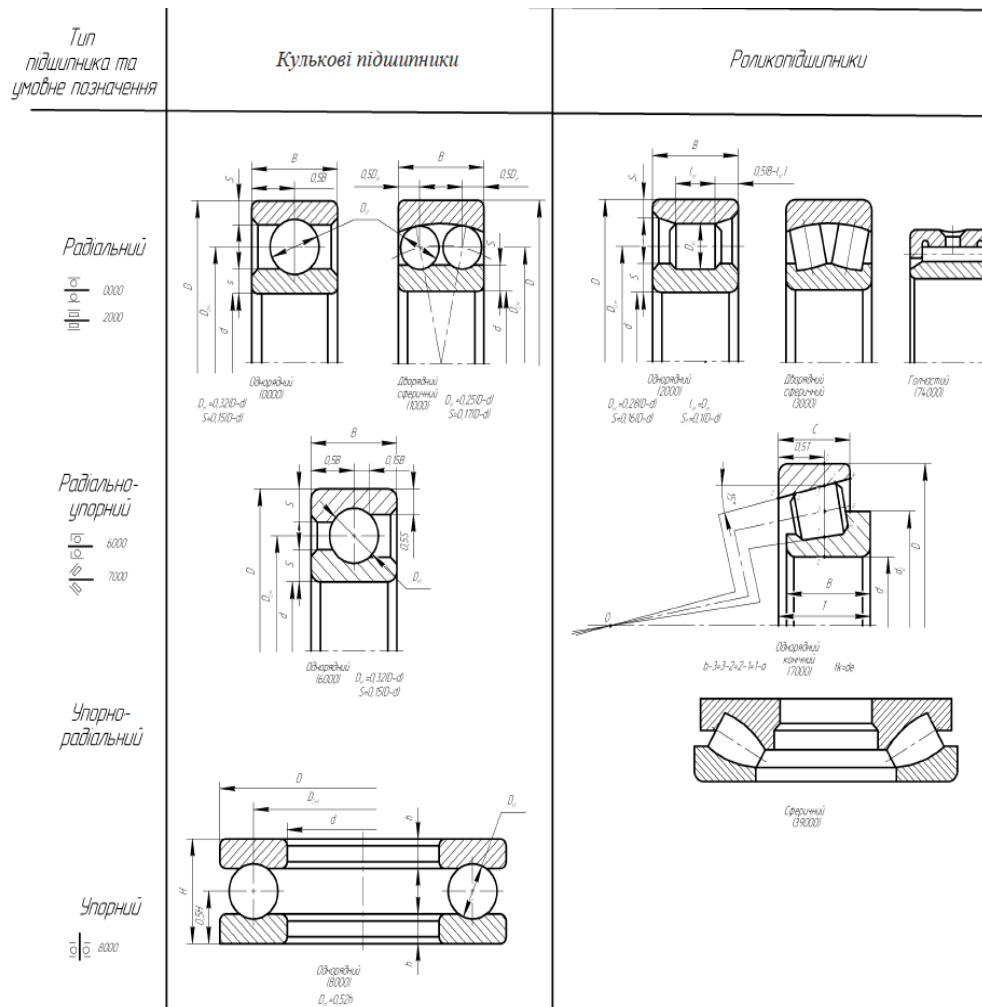


Рисунок 1.2 – Типи підшипників згідно сприйманого навантаження [1]

На рис. 1.3 приведені основні види підшипників кочення:

- радіально-упорний шариковий підшипник;
- радіально-упорний шариковий підшипник с чотирьохточковим конт-ом;
- радіальний шариковий підшипник для корпусних вузлів;
- радіальний роликівий підшипник;
- радіально-упорний (конічний) роликівий підшипник;
- упорний роликівий підшипник;
- упорний шариковий підшипник;
- радіально-упорний роликівий підшипник.[3]

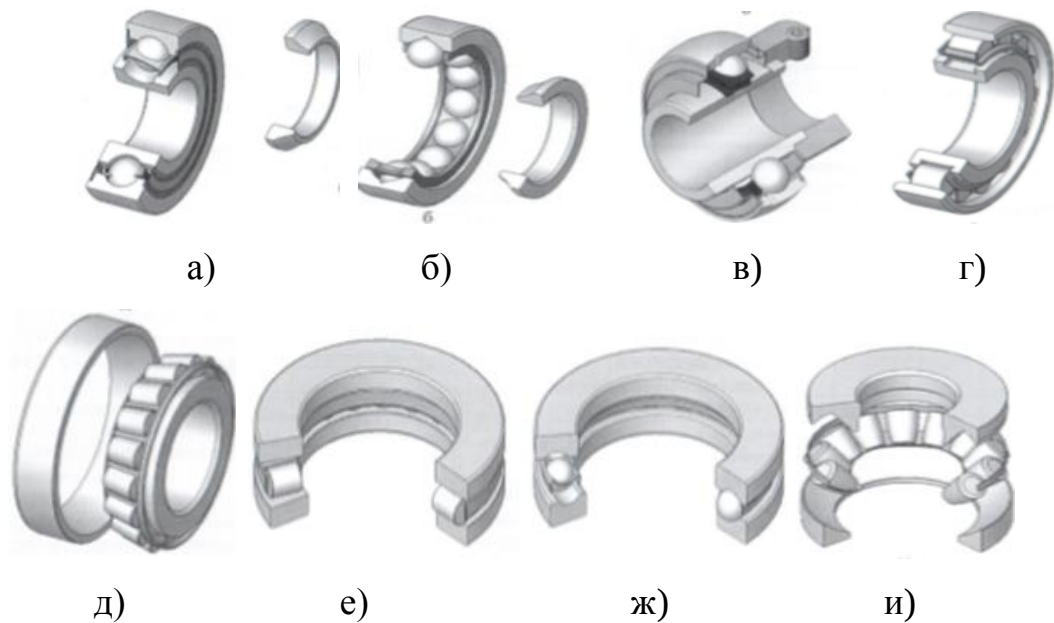


Рисунок 1.3 – Зовнішній вид та конструкція основних типів підшипників кочення [3]

У сучасних авіаційних конструкціях широко застосовуються підшипники кочення більшості типів, стандартизованих ДСТУ ГОСТ 520:2014, а також підшипники спеціальних типів до яких відносяться:

- 1) Підшипники, що працюють при високих та надвисоких швидкостях обертання;
- 2) Підшипники, що працюють при високих температурах;
- 3) Підшипники, що працюють у спеціальних середовищах.

Як правило, підшипник кочення має досить малу кількість складових частин, а саме: зовнішнє 1 та внутрішнє 2 кільця, тіла кочення 3, сепаратор 4 (рис. 1.4 а).

Тіла кочення, які показані на рисунку 1.4 б, рухаються по біговим доріжкам кілець та гарантують їх переміщення відносно один одного.

Сепаратор дозволяє розділити тіла кочення, при цьому утримувати їх на одній відстані та покращувати змащення. Конструкція сепаратора рис. (1.4 в) залежить від типу підшипників та умов їх експлуатації. [1]

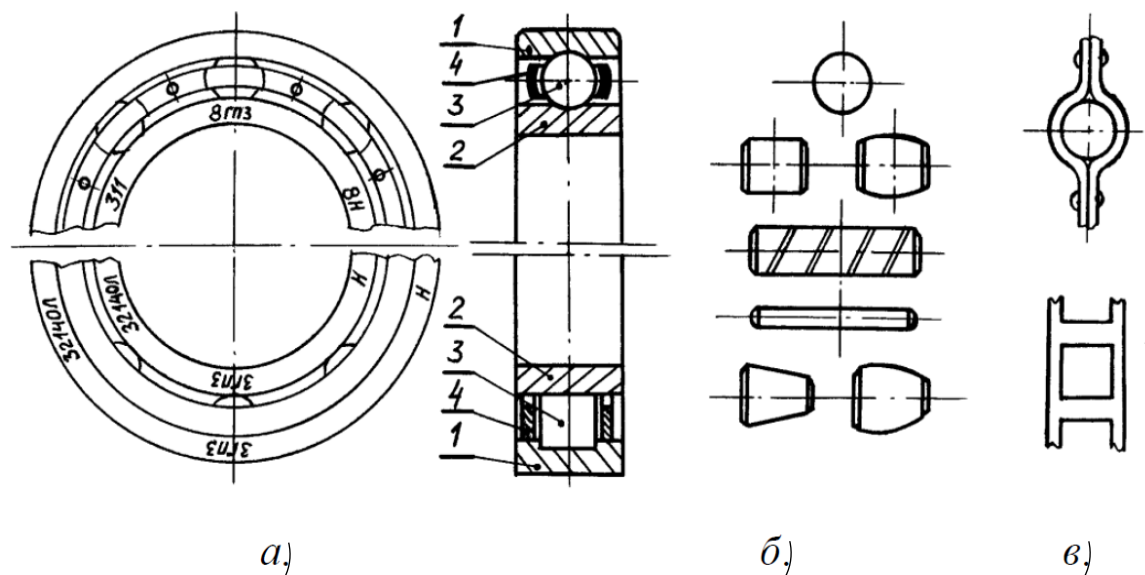


Рисунок 1.4 – Будова підшипників кочення [1]

Ролик – тіло кочення, яке має вісь симетрії та коловий поперечний переріз в будь-якій площині, перпендикулярній до цієї вісі.

Ролики у підшипниках кочення бувають різних видів, а саме:

1) циліндричний ролик – ролик, у якого утворююча зовнішньої поверхні має пряму лінію, яка паралельна вісі ролика;

2) голчастий ролик – це циліндричний ролик, який має малий діаметр з великим співвідношенням довжини до діаметра;

3) конічний ролик – ролик, який має форму усіченого конуса, у якого утворююча зовнішньої поверхні є прямою лінією, яка перетинається з віссю ролика;

4) бомбинований ролик – це циліндричний або конічний ролик, у якого зовнішня поверхня має безперервну, злегка опуклу кривизну у площині вісі ролика, яка призначена для запобігання концентрації напружень на краях ролика при його контакті з доріжками кочення.

По зовнішній поверхні внутрішнього кільця та внутрішній поверхні зовнішнього кільця (на торцевих поверхнях кілець упорних підшипників кочення) виконані жолоба – доріжки кочення, по яким при роботі підшипника рухаються тіла кочення.

Закриті підшипники кочення (які мають захисні кришки) практично не потребують обслуговування (заміна змазки), відкриті – чутливі до потрапляння чужорідних тіл, що може призвести до швидкого руйнування підшипника та виходу обладнання з ладу.

У таблиці 1.1 наведені дані, щодо експлуатаційних характеристик підшипників кочення різних типів.

Таблиця 1.1 – Експлуатаційні характеристики підшипників кочення [3]

Тип підшипника	Навантаження			Висока частота обертання	Сприйняття перекосу
	Радіальне	Осьове	Комбіноване		
Шариковий радіальний	+	+	+	+++	О
Шариковий радіальний дворядний сферичний	+	О	О	++	+++
Радіально-упорний однорядний шариковий	+	+	++	++	Х
Радіально-упорний шариковий дворядний та однорядний здвоєний	++	+	++	+	Х
Шариковий з 4-х точковим контактом	О	+	+	++	Х
З короткими циліндричними роликами без бортів на одному з кілець	+++	Х	Х	+++	Х
З короткими циліндричними роликами з бортами на зовнішньому та внутрішньому кільцях	+++	О	О	+++	Х
Радіальний голчатий	+++	Х	Х	О	Х
Сферичний роликовий	+++	+	+++	+	+++
Конічний роликовий	++	++	++	+	О
Упорний шариковий	О	+	О	+	Х

Упорний з конічними роликами	О	++	О	О	Х
Упорно-радіальний роликовий сферичний	О	+++	++	+	+++

Умовні позначення: +++ – дуже добре; ++ – добре; + – задовільно; о – погано; х – непридатний.

1.2 Вибір посадок підшипників кочення при встановленні на вал та в корпус

У зв'язку з великими навантаженнями та високими швидкостями при роботі вузлів двигуна до контролю якості складання підшипникових вузлів пред'являються особливо високі вимоги.

Однією з таких вимог є посадка підшипника, яка при правильному вибиранні сприяє успішній його роботі впродовж усього ресурсу.

При встановленні оптимальних посадок розглядають не лише питання режиму роботи та експлуатації конкретного підшипника, а й ще аналізують й роботу всього механізму в цілому.

Вибір певної посадки підшипника на вал та в корпус залежить в основному від режимів роботи, його розмірів та умов експлуатації підшипникового вузла.

Однією з важливих характеристик при виборі посадки підшипника є навантаження кілець, які поділяються наступним чином:

1. Місцеве – це навантаження, при якому діє одне радіальне навантаження, яке є постійним по величині та напрямку в одній точці посадкової поверхні кільця підшипника та передається одній та тій же точці посадкової поверхні вала або корпусу (рис.1.5 *а,б*).

2. Циркуляційне – це навантаження, при якому діє одне радіальне навантаження, яке передається послідовно по всій окружності бігової доріжки

підшипника та сприймається також послідовно посадковою поверхнею вала або корпусу (рис.1.5 *а,б*).

Кільця під дією цих навантажень слід встановлювати на вал або в корпус з натягом.

3. Коливальне – це навантаження, при якому діє два радіальних навантаження, з котрих одне постійне по величині та напрямку, а друге – обертове. Рівнодіюча цих двох навантажень сприймається обмеженою ділянкою бігових доріжок кілець підшипника та передається обмеженій ділянці посадкової поверхні вала або корпусу (рис.1.5 *в*) [7].

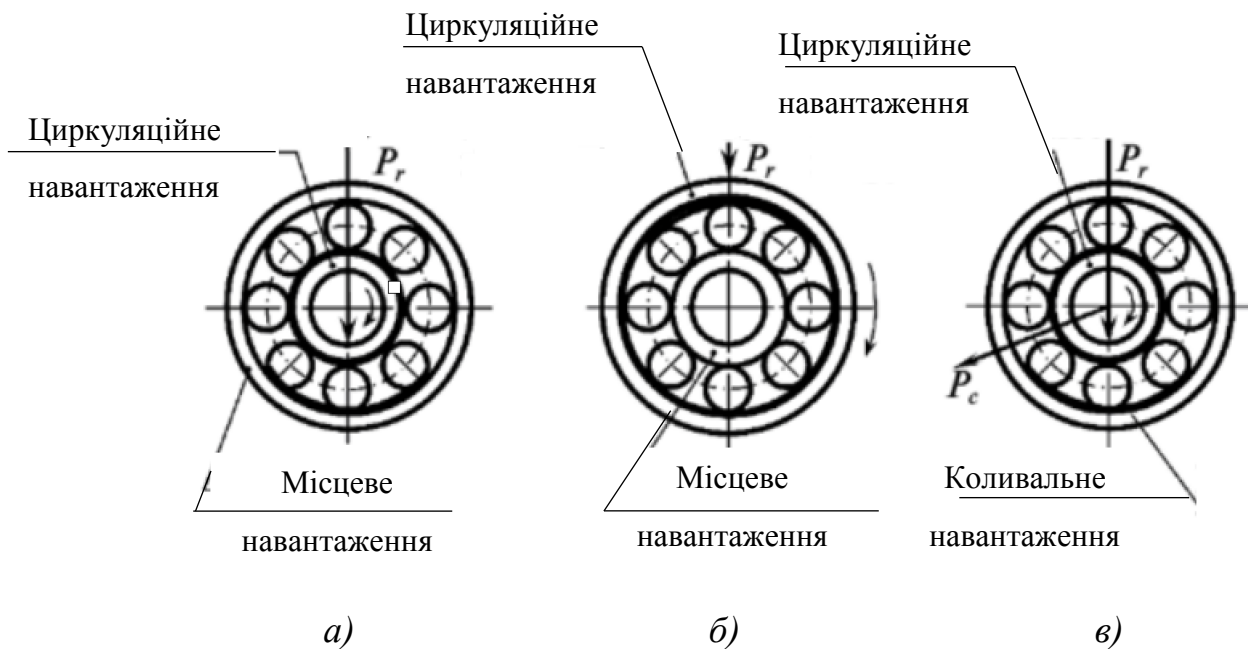


Рисунок 1.5 – Види навантажень на підшипник кочення

В залежності від виду навантаження кілець у таблиці 1.2 наведено рекомендаційні посадки.

Таблиця 1.2 – Посадки шарико- та роликопідшипників в залежності від виду навантаження кілець [7]

Вид навантаження кільця	Поле допуску	
	Внутрішнього кільця на вал	Зовнішнього кільця в корпус
Місцеве	$\frac{L_0}{js6}, \frac{L_0}{h6}, \frac{L_0}{g6}, \frac{L_0}{f6}, \frac{L_6}{h6}, \frac{L_6}{g6}, \frac{L_6}{f6}$	$\frac{Js7}{l0}, \frac{H7}{l0}, \frac{G7}{l0}, \frac{Js7}{l6}, \frac{H7}{l6}, \frac{G7}{l6}, \frac{Js7}{l0}, \frac{H8}{l0}$
Циркуляційне	$\frac{L_6}{js6}, \frac{L_0}{n6}, \frac{L_0}{m6}, \frac{L_0}{k6}, \frac{L_0}{js6}, \frac{L_6}{n6}, \frac{L_6}{m6}, \frac{L_0}{k6}$	$\frac{N7}{l0}, \frac{M7}{l0}, \frac{K7}{l0}, \frac{P7}{l0}, \frac{M7}{l6}, \frac{P7}{l6}, \frac{K6}{l6}, \frac{K7}{l6}, \frac{P7}{l6}$
Коливальне	$\frac{L_6}{js6}, \frac{L_0}{js6}$	$\frac{Js7}{l0}, \frac{Js7}{l6}$

Посадки підшипників з натягом призводять до деформації кілець та, як наслідок, до часткової вибірки у підшипнику радіальних зазорів. Ця обставина повинна враховуватися при застосуванні підшипників з тим, щоб виключити можливість вибірки внутрішніх зазорів в них.

При виборі виду з'єднання внутрішнього кільця з валом та зовнішнього кільця з корпусом при конструюванні вузла слід врахувати наступну обставину.

Внутрішні зазори в підшипниках зазвичай досить обмежені, тому це повинно враховуватися при призначенні посадок, оскільки надмірні натяги можуть вибрати початковий зазор в них, що, в свою чергу, може призвести до защемлення підшипника під час роботи.

Наприклад, в шарикових радіальних підшипниках з внутрішнім діаметром до 10 мм мінімальний зазор становить 0,005 мм, а при діаметрі до 30 мм найменший можливий зазор – 0,01 мм.

У зв'язку з цим для внутрішніх кілець, які мають невеликі габаритні розміри та обертаються, не можуть бути рекомендовані напружені посадки, оскільки при максимально можливому натягу при такому спряженні зазори в підшипнику можуть бути вичерпані повністю незалежно від того, яке з'єднання передбачено для зовнішнього кільця.

Наприклад, при посадці k6 на вал найбільший натяг становить 0,022 мм. Такий натяг може призвести до зменшення радіального зазору в підшипнику приблизно на 0,01 – 0,012 мм. При первинному зазорі 0,005 мм, підшипник

може заклинити, або передчасно вийти з ладу внаслідок попередній напруженості робочих елементів.

Отже посадка підшипника кочення відноситься до одних із найважливіших параметрів при виборі відповідного підшипника, тому до неї приділяється дуже багато уваги, та ретельно виконуються усі вимоги до точності монтажних поверхонь на валу чи в корпусі.

1.3 Конструкції підшипникових вузлів в авіаційних двигунах

Як показує аналіз існуючих конструкцій авіаційних двигунів, при проектуванні газо – турбінних двигунів (ГТД) розробники широко використовують свій досвід, перевірені часом конструктивні рішення, при обов’язковому виконанні тих загальних вимог до конструкції опор, які розглянуті вище.

Це можна побачити на прикладах двигуна PW 2037 (рис.1.6) та ПС-90А (рис.1.12). [8]

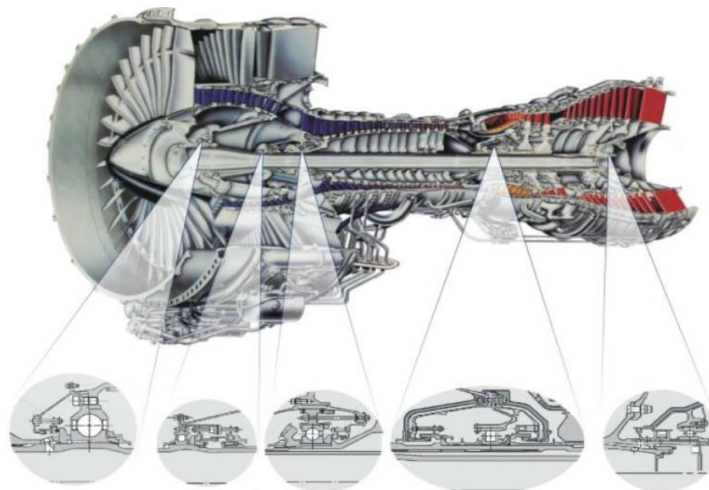


Рисунок 1.6 – Двигун PW2037. Схема розташування підшипникових вузлів [8]

Двигун PW2037 має двоопорну конструкцію ротора компресора високого тиску (КВТ) та трьхопорну – ротора компресора низького тиску (КНТ). На

рис. 1.6 окремо показані схеми розташування опор в двигуні, які далі розглянуті більш детально.

На рис.1.7 показано підшипниковий вузол, який розташований в передній опорі ротора КНТ та має такі конструктивні особливості: зовнішнє кільце 1 радіально – упорного шарикопідшипника 2 кріпиться до фланця 3. Подача мастила здійснюється під внутрішній бурт мастильно - збирального кільця 4, а потім по отворах в опорному бурті вала 5 та пазам внутрішнього кільця 6 на тіла кочення. Також встановлене ущільнення 7 для забезпечення чистоти робочого середовища підшипника.

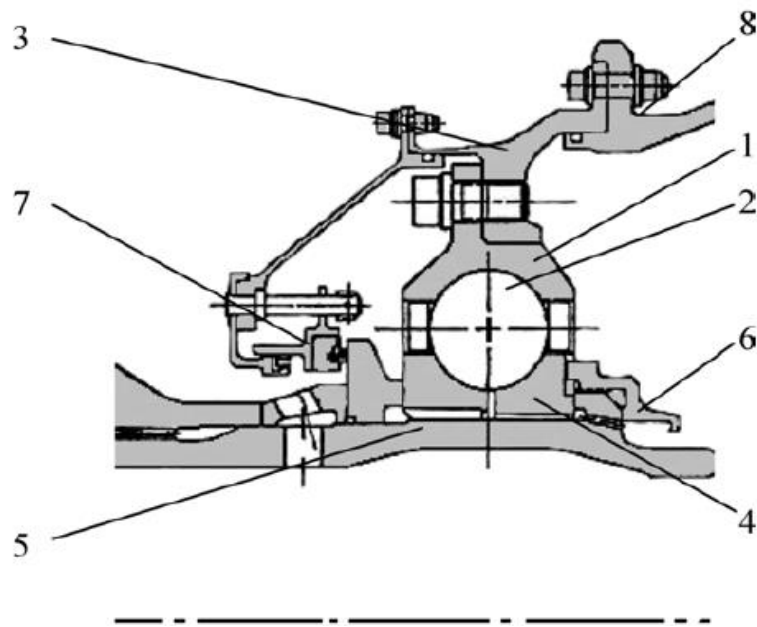


Рисунок 1.7 – Опора шарикопідшипника ротора КНТ

На рис.1.8 показана проміжна опора ротора КНТ, у якої зовнішнє кільце 1 роликопідшипника 2 має фланець для кріплення до корпусу 3 опори. Подача мастила відбувається під внутрішнє кільце роликопідшипника. Поряд з роликопідшипником розташовано два контактних ущільнення 4, які ізолюють мастильну порожнину опори від міжвальної порожнини роторів КВТ та КНТ.

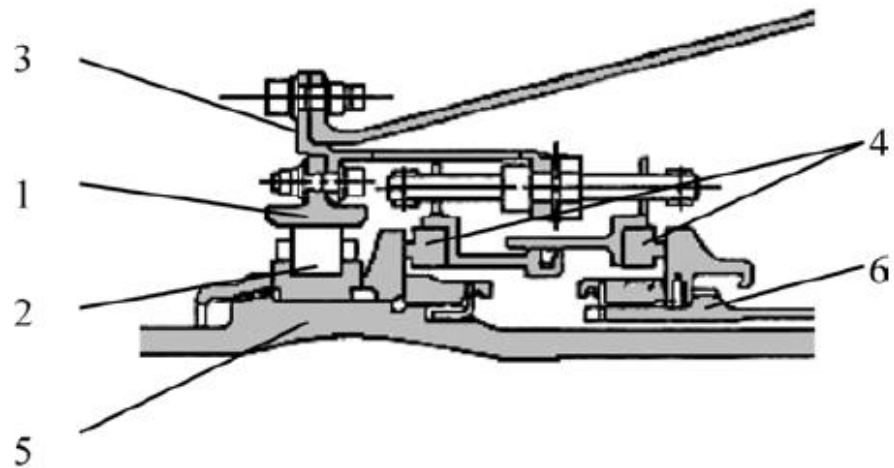


Рисунок 1.8 – Проміжна опора ротора КНТ з роликопідшипником

На рис.1.9 показано підшипниковий вузол з радіально – упорним шарикопідшипником 1, який сприймає дію осьового зусилля з валу 2. Захист підшипникового вузла від чужорідних частин здійснюється за допомогою контактної ущільнення 6.

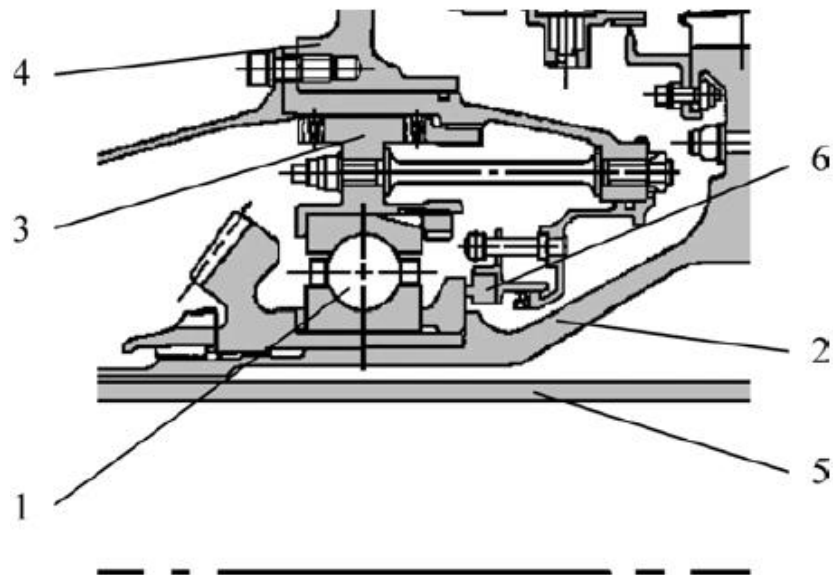


Рисунок 1.9 – Опора шарикопідшипника ротора КВТ

Підшипниковий вузол, зображений на рис. 1.10, містить радіальний підшипник з короткими циліндричними роликами, що можуть витримувати радіальне навантаження приблизно на 70% більше, ніж підшипники радіальні шарикові, при цьому за швидкісними характеристиками трохи їм поступаються та мають досить значну економічну вагу. Підшипники цієї конфігурації досить чутливі до перекосів кілець, що безпосередньо має вплив на виникнення концентрації навантаження на краях роликів, і вимагають точної співвісності посадкових місць [1].

Даний підшипник розташований в «гарячій» зоні, тому фланець 1 має V - подібну форму для компенсації різних температурних розширень зовнішньої та внутрішньої частини. Опора захищена теплоізоляційним корпусом 2. Зовнішнє кільце роликопідшипника 3 має збільшену довжину для компенсації монтажних неточностей та теплового розширення. Підшипник встановлений на вал ротора КВТ 4 з натягом. Зовнішнє кільце запресоване в корпус 7. Додатково встановлені контактні ущільнення 6.

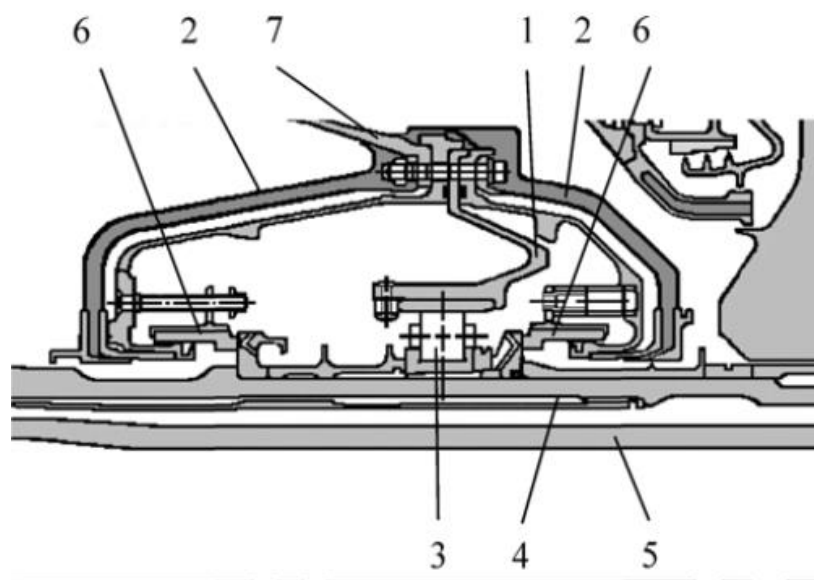


Рисунок 1.10 – Задня опора ротора КВТ з роликопідшипником [8]

На рис.1.11 показано задню опору ротора КНТ двигуна PW2037 з роликопідшипником 1, у якого зовнішнє кільце має пружний елемент, а

внутрішнє кільце – збільшену довжину. Опора захищена теплоізоляційним кожухом 2 та контактним ущільненням 4.

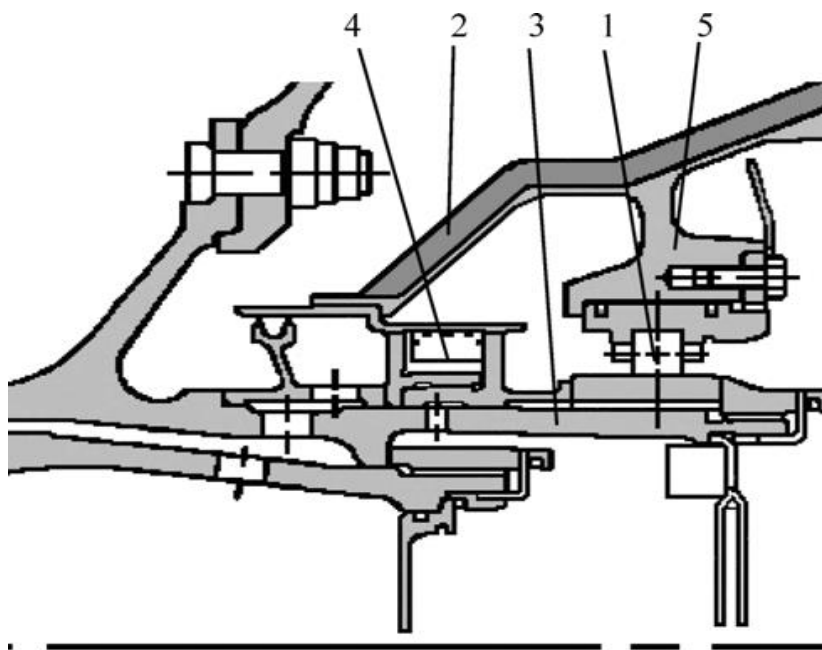


Рисунок 1.11 – Задня опора ротора КНТ з роликопідшипником

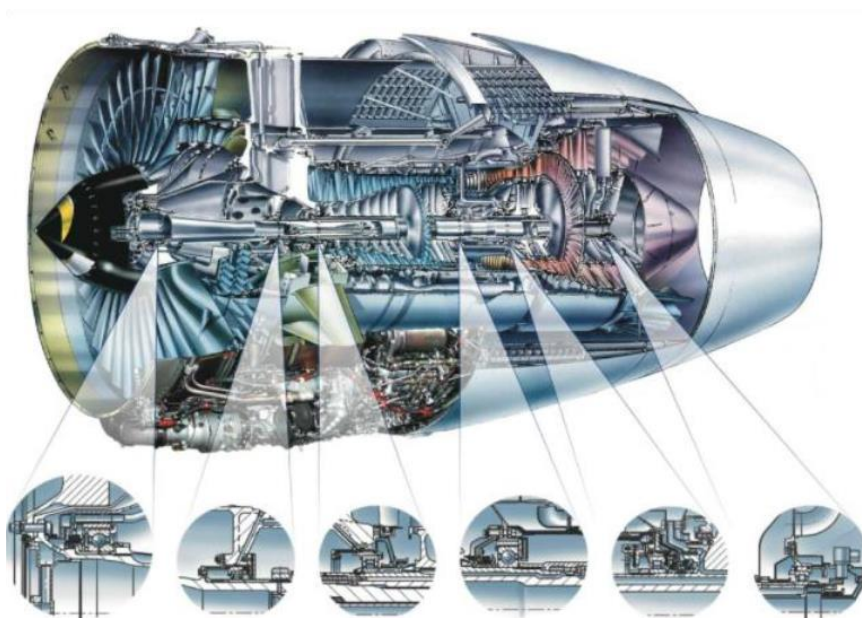


Рисунок 1.12 – Двигун ПС-90А. Схема розташування підшипникових вузлів [8]

На рис.1.12 наведено загальний вигляд двигуна ПС-90А та детальні схеми розташування підшипникових вузлів.

На рис.1.13 показано опору шарикопідшипника ротора КНТ, що розташована в «холодній» зоні та не потребує спеціальних заходів по забезпеченню теплового режиму. Ця опора сприймає осьове зусилля з ротора КНТ на корпус. На внутрішньому кільці підшипника виконаний технологічний бурт для зняття підшипника при розборці. Зовнішнє кільце підшипника встановлено в корпус 2. Внутрішнє роз'ємне кільце встановлено на валу 3 ротора. Подача мастила на шарикопідшипник відбувається через форсунку 4 до внутрішньої конічної порожнини різьбової втулки 5. Під дією відцентрових сил у внутрішній конічній порожнині утворюється мастильна ванна, звідки мастило по пазам в валу ротора потрапляє під внутрішнє кільце підшипника та через отвори в кільці – на тіла кочення.

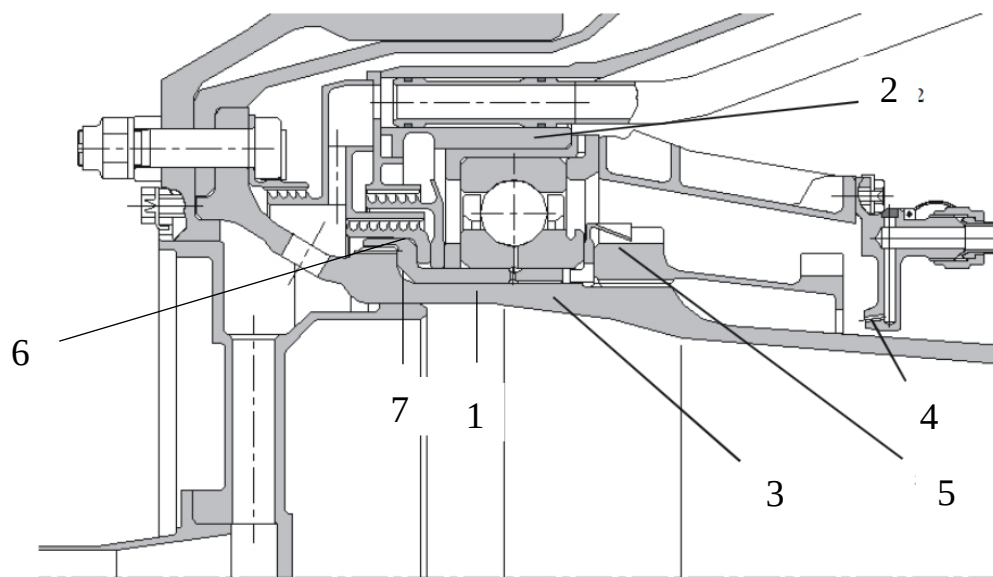


Рисунок 1.13 – Опора шарикопідшипника ротора КНТ [8]

На рис.1.14 зображена проміжна опора ротора КНТ. Роликпідшипник 1 встановлений в роздільному корпусі 2 на пружно - демпферній опорі 3 типа «білчине колесо». Подача мастила на підшипник відбувається за рахунок форсунки 4.

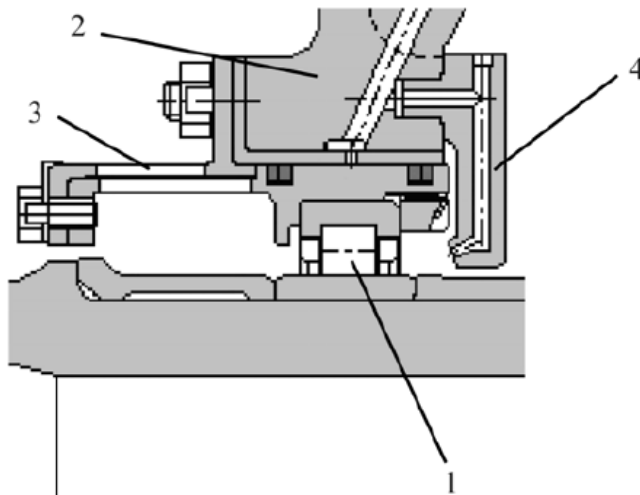


Рисунок 1.14 – Проміжна опора ротора КНТ

Передня опора ротора КВТ, зображена на рис.1.15 , також розташована в роздільному корпусі. Роликопідшипник 1 встановлений на пружно – демпферній опорі 2. Ущільнення мастильної порожнини відбувається за рахунок лабіринтів 3 та 4, при цьому здійснюється наддув міжлабіринтної порожнини повітрям через компресор НТ.

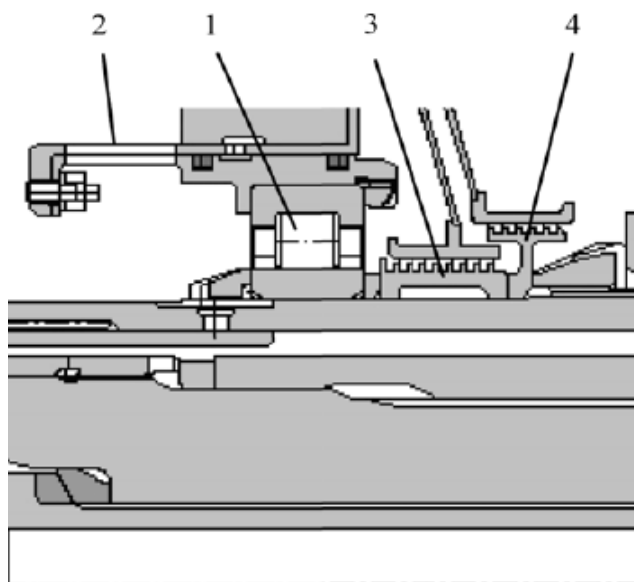


Рисунок 1.15 – Передня опора ротора КВТ

Усі вищевказані опори розташовані в єдиній мастильній порожнині роздільного корпусу з об'єднаною відкачкою мастила в нижній частині.

Шарикопідшипник, зображений на рис.1.16, радіальний однорядний відносяться до найбільш масового типу підшипників. Він може сприймати як радіальне, так і осьове навантаження, що діють в обох напрямках уздовж осі вала і які не повинні перевищувати 70% від невикористаної допустимої радіальної сили. Даний підшипник, завдяки його можливості працювати з найменшими втратами на силу тертя, може витримувати найбільші частоти обертання у порівнянні з іншими типами підшипників.[1]

Конструкція даної опори складається з радіального шарикопідшипника 1, який має роз'ємне внутрішнє кільце 2. Зовнішнє кільце 3, яке встановлено в обойму 4, яка, в свою чергу, запресована в корпус 5 кожуху внутрішнього камери згоряння. Подача мастила здійснюється через форсунки 6 в зазор між сепаратором 7 та внутрішнім кільцем підшипника. Ущільнення мастильної порожнини здійснюється лабіринтами 8 та 9, які мають мастило - відбійний бурт. Також навколо опори шарикопідшипника конструктивно сформована порожнина 11, через яку пропускається охолоджуюче повітря. Теплозахисний екран 10 встановлений з метою усунення перегріву.

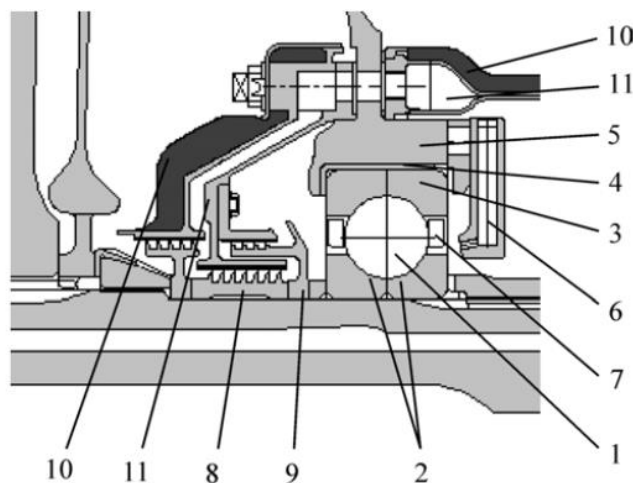


Рисунок 1.16 – Опора шарикопідшипника ротора КНТ [8]

На рис.1.17 показано задню опору ротора КНТ, в якій розташований роликопідшипник 1. Він встановлений на «жорсткому» фланці 2, який має пружно – демпферну опору 3. Фланець знаходиться на задній опорі 4 двигуна. Подача мастила на роликопідшипник примусова через форсунки. Ущільнення

мастильної порожнини здійснюється лабіринтами 5 та 6. Підшипник розташований в мастильній порожнині задньої опори, в якій організовані відкачка мастила – в нижній частині, та суфлювання с зовнішньою атмосферою – в верхній частині.

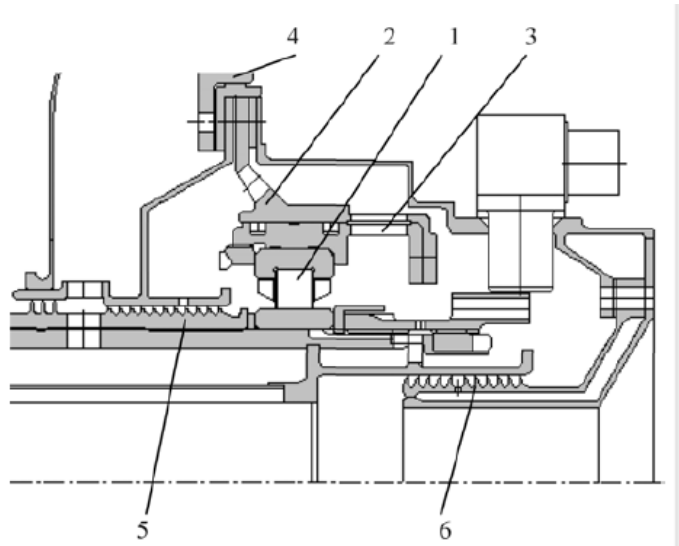


Рисунок 1.17 – Задня опора ротора КВТ

Динамічна вантажність цих підшипників трошки перевищує можливості радіальних однорядних шарикових підшипників на 10-20%, але з економічної точки зору є менш вигідними, бо вартість, порівнюючи з радіальними однорядними, перевищує більш ніж вдвічі.

Однією із основних характеристик підшипників є його ресурс, який повинен бути не менше терміна служби до першої переборки авіаційного двигуна, у якому він застосований, та встановлюється за результатами відповідних випробувань виробів.

Відомо, що термін служби конструкцій авіаційної техніки відносно малий. У зв'язку з цим більшість підшипників у двигунах, які відпрацювали свій термін служби, й близько не вичерпують свою працездатність. [7]

Тому актуальним є визначення дійсного стану підшипників та навантажень в умовах експлуатації для подальшого вирішення питання щодо можливості використання їх на наступний міжремонтний ресурс роботи.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ УШКОДЖЕНЬ ПІДШИПНИКІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Підшипник, який виконує обертальні рухи під навантаженням, на тілах кочення та доріжках кочення внутрішнього та зовнішнього кілець, як правило, має матову поверхню, але це не є ознакою зносу в прямому його сенсі, таке явище не впливає на довговічність підшипника.

Матові ділянки на поверхні доріжок кочення внутрішніх та зовнішніх кілець є слідами обертання, які виглядають по різному в залежності від умов обертання та навантаження.

Для визначення причин, які впливають на вид сліду обертання, використовується методика, яка полягає у визначенні форм сліду.

2.1 Пошкодження, що виникли при прикладанні навантаження

2.1.1 Прикладання радіального навантаження

При прикладанні радіального навантаження з постійним напрямком дії можливі два варіанти, коли обертається внутрішнє кільце (рис.2.1) та зовнішнє кільце (рис.2.2) при нерухомому другому кільці [9].

При обертанні внутрішнього кільця та прикладанні радіального навантаження на внутрішньому кільці утворюється рівномірно широкий слід обертання, який розміщується по середині доріжки кочення та розповсюджується по всій окружності.

При цьому зовнішнє кільце має самий широкий слід обертання у напрямку навантаження, але при наближенні до кінця зони навантаження перетворюється на вістря (рис.2.1).

Якщо посадка відповідає міжнародним стандартам, наприклад 0,04 мм при напрусуванні на вал, та дотриманий радіальний зазор в підшипнику до 0,05 мм у вільному стані, то слід кочення розповсюджується приблизно на половину окружності доріжки кочення.

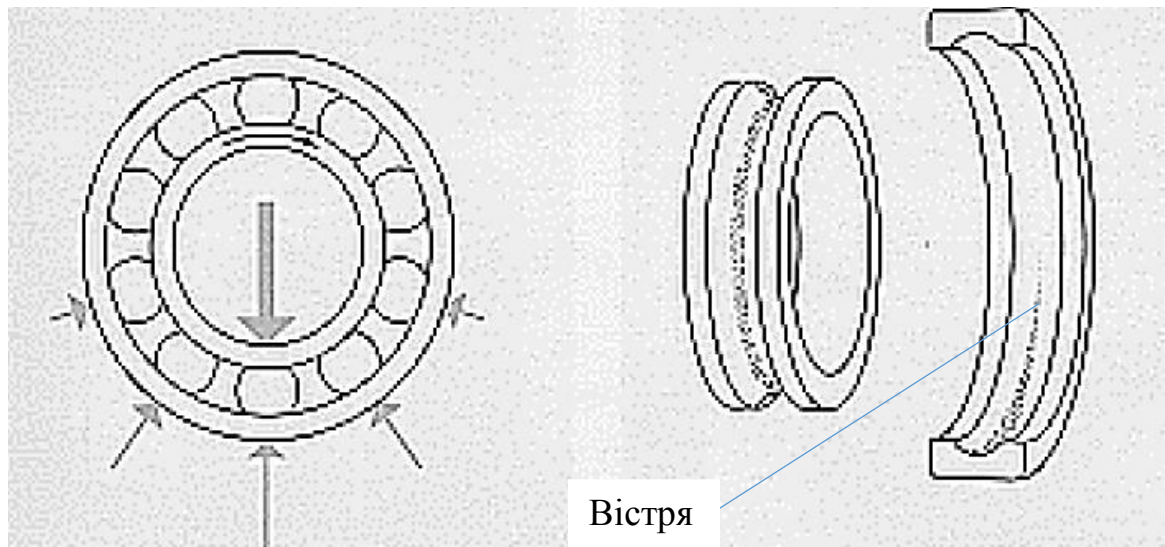


Рисунок 2.1 – Сліди обертання та прикладання радіального навантаження на підшипник з обертанням внутрішнього кільця

На підшипнику, який працював при постійному напрямку радіального навантаження та оберталося лише зовнішнє кільце, маємо таку картину виникнення слідів обертання.

На внутрішньому кільці виявлений самий широкий слід кочення у напрямку навантаження, але ближче до кінця зони навантаження він перетворюється на вістря. При цьому на зовнішньому кільці утворений слід, який розміщується по середині доріжки кочення та розповсюджується по всій окружності.

Сліди обертання, які були отримані при прикладанні радіального навантаження з тією ж частотою обертання, що і внутрішнє кільце, як зображено на рис. 2.3 та зовнішнє кільце, як зображено на рис. 2.4.

На підшипнику з прикладанням радіального навантаження з тією ж частотою обертання, як внутрішнє кільце, при цьому зовнішнє кільце нерухоме, маємо таку картину виявлення слідів обертання.

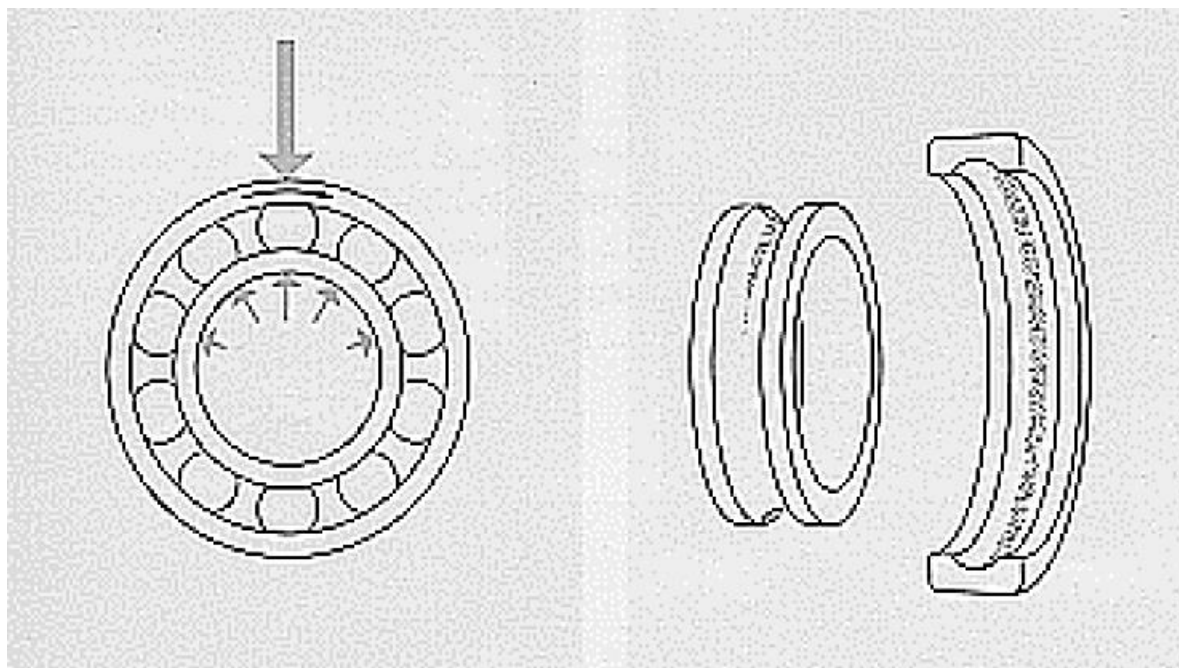


Рисунок 2.2 - Сліди обертання та прикладання радіального навантаження на підшипник з обертанням зовнішнього кільця

На внутрішньому кільці найширший слід кочення утворений у напрямку навантаження, при цьому ближче до кінця зони навантаження перетворюється на вістря. На зовнішньому кільці картина зовсім інша – слід кочення має рівномірно широкий вигляд та розташований по середині доріжки кочення та розповсюджується по всій окружності.

На підшипнику, у якого прикладання радіального навантаження здійснюється з тією ж частотою, що і зовнішнє кільце, та внутрішнє кільце не обертається, маємо такі виявлені сліди кочення (рис.2.4).

На внутрішньому кільці слід кочення має рівномірно широкий вигляд та розташований по середині доріжки кочення та розповсюджується по всій окружності.

При цьому зовнішнє кільце має у своєму активі найширший слід кочення, з розташуванням у зоні напрямку навантаження, але у кінці цієї зони слід перетворюється у вістря.

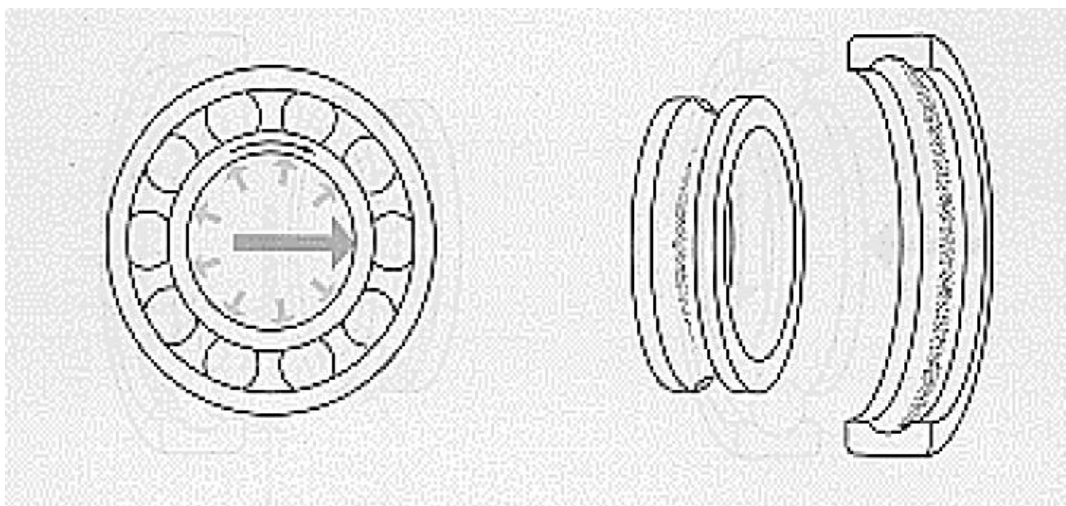


Рисунок 2.3 - Сліди обертання та прикладання радіального навантаження, яке обертається з тією ж частотою, що і внутрішнє кільце

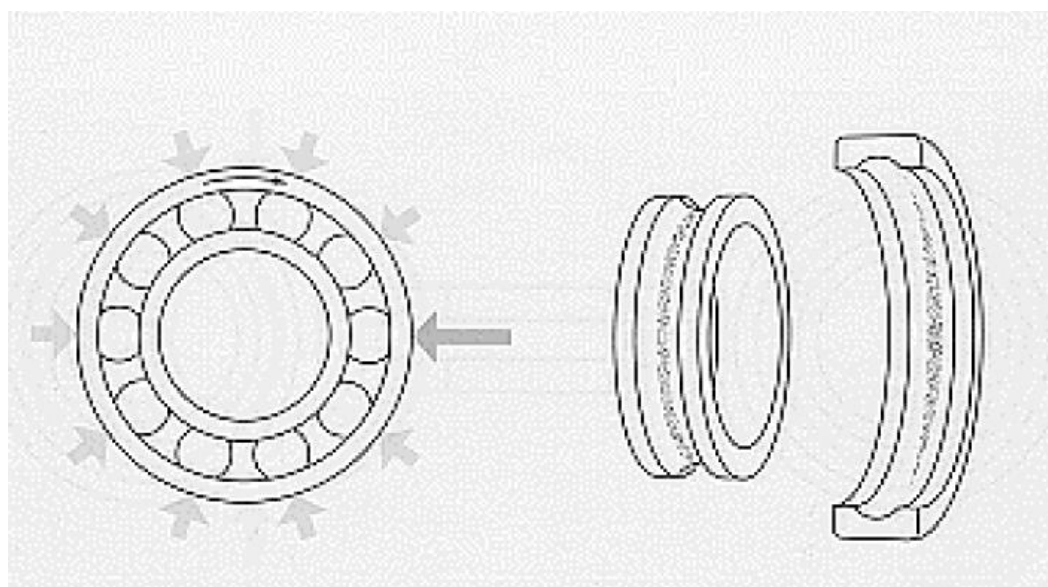


Рисунок 2.4 - Сліди обертання та прикладання радіального навантаження, яке обертається з тією ж частотою, що і зовнішнє кільце

Підшипник, який працював під радіальним навантаженням при постійному напрямку, та, окрім цього, додатково існував вплив підвищеного дисбалансу, має такий напрямок навантаження та такі сліди обертання (рис. 2.5).

На внутрішньому та зовнішньому кільцях сліди кочення розповсюджені рівномірно по всій окружності доріжок кочення обох кілець. При цьому на

вказаному підшипнику оберталося лише внутрішнє кільце, а зовнішнє не виконувало ніяких рухів.

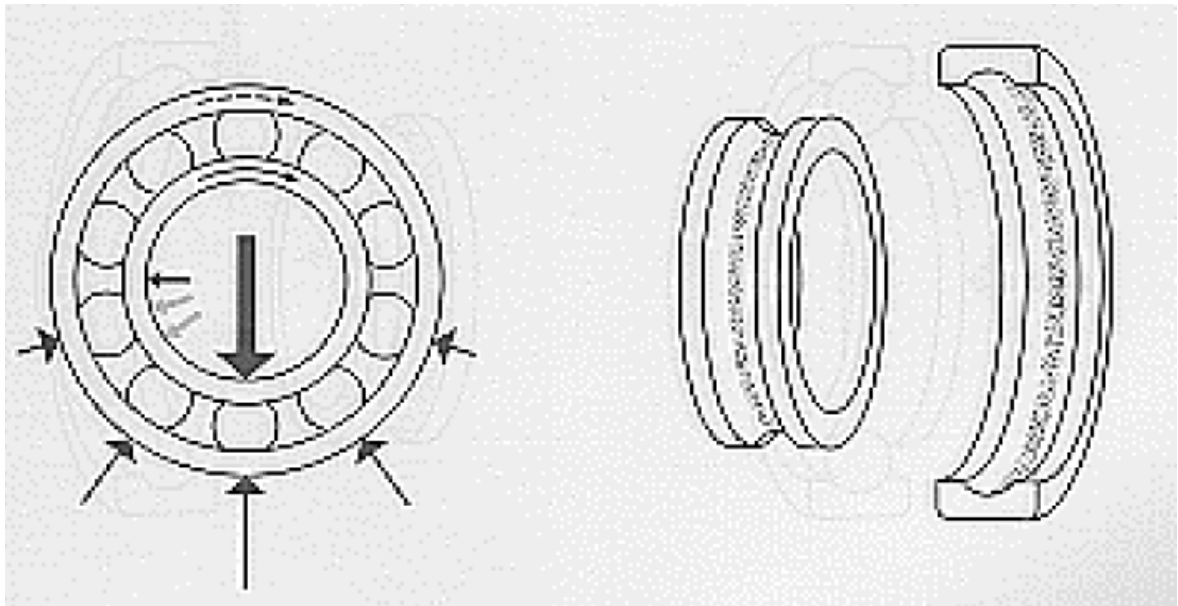


Рисунок 2.5 - Сліди обертання та прикладання радіального навантаження на підшипник

Підшипник, який був встановлений з попереднім натягом за допомогою посадки з завищеним натягом (який дорівнює 0,18 мм, тоді коли максимальне значення 0,155 мм) на вал та радіальне навантаження на ньому було постійного напрямку, а обертові рухи виконувало лише внутрішнє кільце, маємо таку картину.

На внутрішньому кільці слід кочення має широкий вид та розповсюджується посередині доріжки кочення по всій окружності. На зовнішньому кільці слід кочення розташовується по всій окружності посередині доріжки кочення, при цьому в зоні прикладання навантаження слід кочення має самий широкий розмір (рис. 2.6).

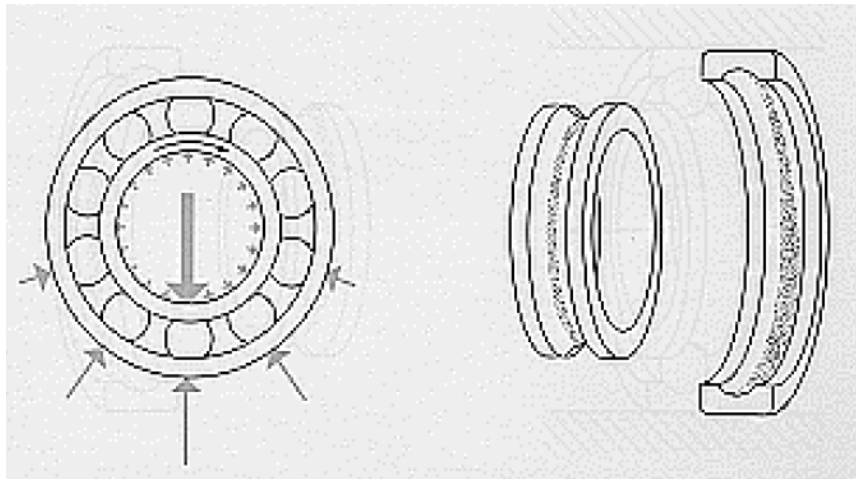


Рисунок 2.6 - Сліди обертання та прикладання радіального навантаження на підшипник з попереднім завищеним натягом

Підшипник з деформованим зовнішнім кільцем, яке має овальну форму та внутрішнє кільце виконувало обертові рухи, а зовнішнє кільце було нерухомим.

Сліди кочення на внутрішньому кільці розташовані рівномірно посередині доріжки кочення по всій окружності та має широкий вигляд.

В той час на зовнішньому кільці слід кочення знаходиться в зоні деформації кільця, на двох діаметрально протилежних ділянках доріжки кочення (рис. 2.7).

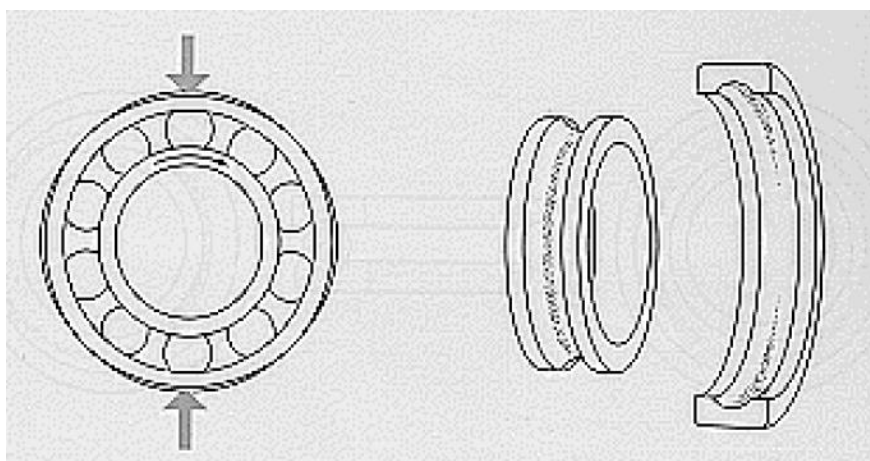


Рисунок 2.7 - Сліди обертання та прикладання радіального навантаження на підшипник з деформованим кільцем

2.1.2 Прикладання осьового навантаження

На підшипникових вузлах, які працювали під дією сил, спрямованих вздовж вісі вала, осьові навантаження спонукають зовсім іншу картину слідів обертання, ніж радіальні.

Підшипники, які працювали під дією осьового навантаження, зображені на рис. 2.8 та 2.9 [9].

При подібному напрямку навантаження та обертанні внутрішнього та зовнішнього кілець сліди кочення розміщені по всій окружності доріжок кочення, при цьому рівномірно розташовані, як на внутрішньому, так і зовнішньому кільцях зі зміщенням до однієї сторони (рис.2.8).

При осьовому навантаженні сліди обертання в більшості випадків розповсюджуються по всій окружності доріжок кочення.

На рис. 2.9 зображена ситуація, коли обертається лише туге кільце, тоді як вільне кільце не виконує оберткових рухів.

У такому випадку було виявлено, що як на тугому, так і на вільному кільцях широкий слід кочення рівномірно розташувався по всій окружності доріжок кочення обох кілець.

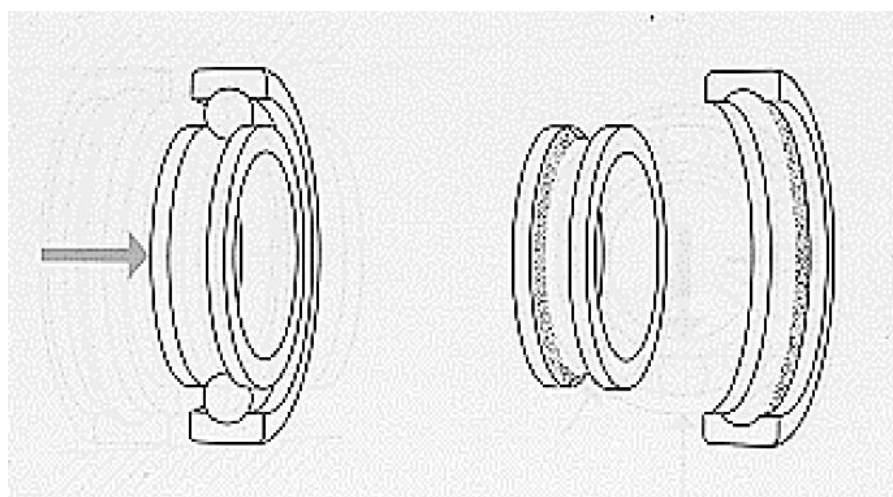


Рисунок 2.8 - Сліди обертання та прикладання осьового навантаження на підшипник з обертанням обох кілець

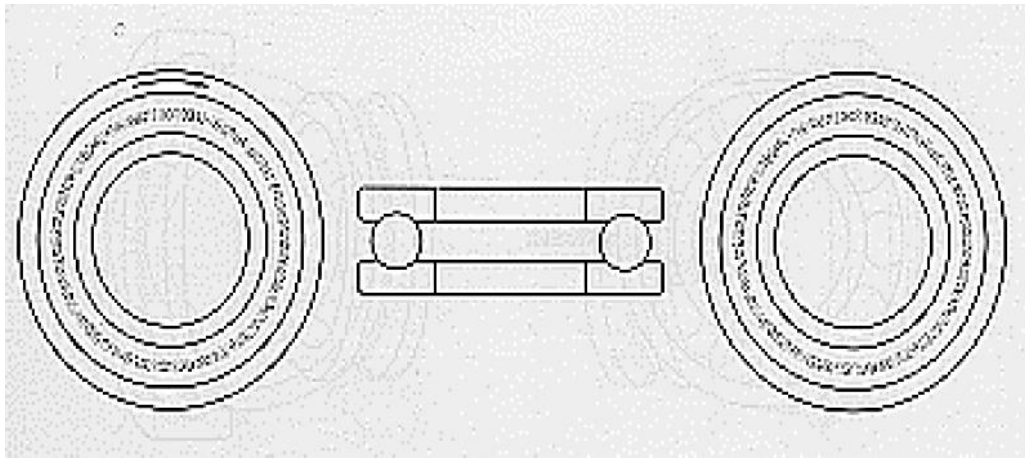


Рисунок 2.9 - Сліди обертання та прикладання осьового навантаження на підшипник з обертанням лише тугого кільця

Вище були розглянуті сліди обертання та напрямок прикладання осьового навантаження при оптимальних режимах експлуатації, тому такі сліди кочення є природніми та не класифікуються як дефект.

2.1.3 Пошкодження при перекосі кілець

На підшипнику, у якого з перекосом було зовнішнє кільце, при цьому внутрішнє кільце не виконувало ніяких рухів, видно, що на внутрішньому кільці слід кочення має рівномірно широкий розмір та розповсюджується посередині доріжки кочення по всій окружності. На зовнішньому кільці слід кочення розташований на двох діаметрально протилежних ділянках доріжки кочення, та зміщені один відносно одного по діагоналі (рис. 2.10) [9].

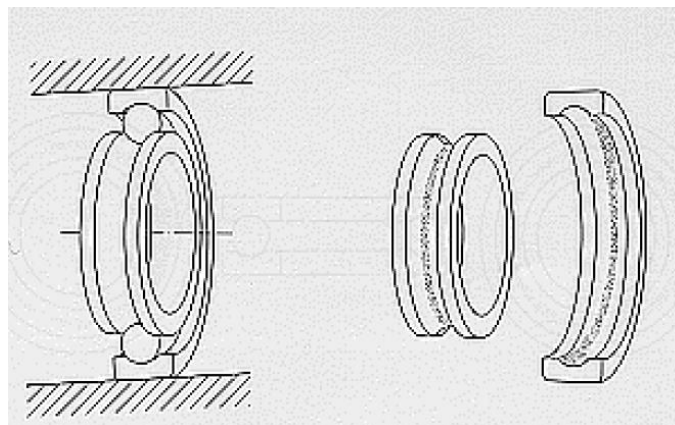


Рисунок 2.10 - Сліди обертання на підшипник з перекосом зовнішнього кільця

На рис.2.11 зображено підшипник, у якого з перекосом працювало внутрішнє кільце, тоді коли зовнішнє було нерухоме.

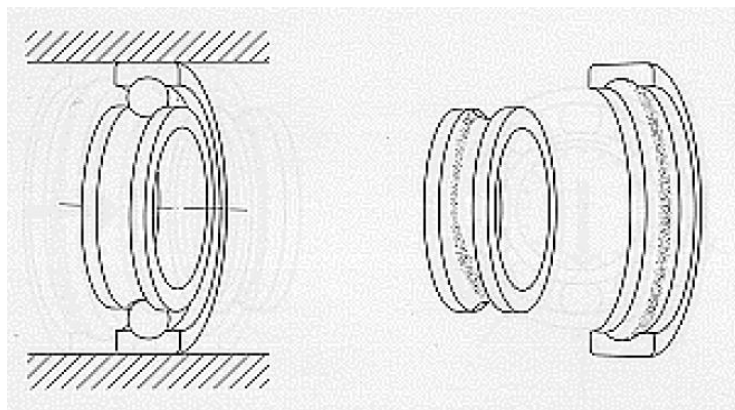


Рисунок 2.11 - Сліди обертання на підшипник з перекосом внутрішнього кільця

На внутрішньому кільці слід кочення, самий широкий у напрямку навантаження, але ближче до кінця перетворюється на вістря. Внаслідок перекосу зазор в підшипнику зменшиться, що вплине на довжину сліду кочення по окружності доріжки кочення.

Слід кочення на цьому підшипнику має пряму залежність від зазору, бо довжина сліду кочення напряму залежить від того, наскільки зменшиться зазор в підшипнику.

Підшипник, у якого вільне кільце зміщено ексцентрично тугого кільця, та обертання виконувало лише туге кільце, має такі сліди кочення.

На тугому кільці був виявлений рівномірний широкий слід кочення, який розповсюджується по всій окружності доріжки кочення.

В свою чергу на вільному кільці слід кочення розходиться по всій окружності, при цьому зміщений відносно центру кільця (рис. 2.12).

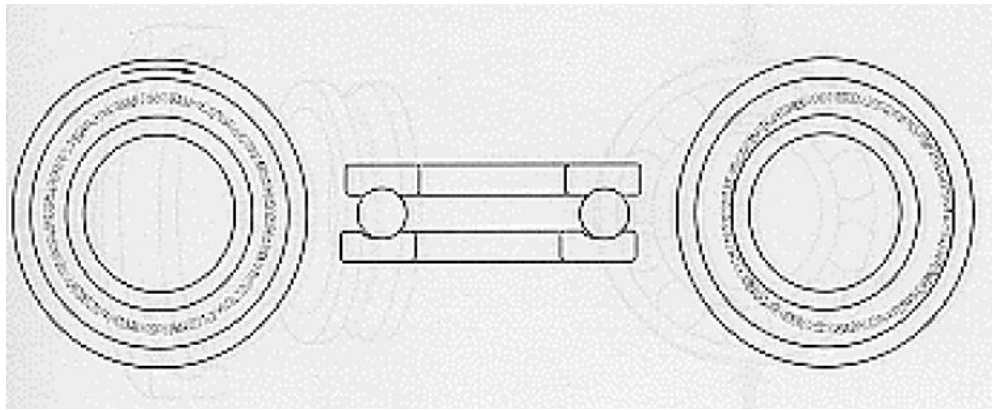


Рисунок 2.12 - Сліди обертання на підшипнику зі зміщенням ексцентрично вільним кільцем

Підшипник, у якого під час експлуатації було встановлено з перекосом вільне кільце та обертання виконувало лише туге кільце, видно, що на тугому кільці слід кочення має рівномірно широкий вигляд та розповсюджується по всій окружності доріжки кочення.

При цьому на вільному кільці слід кочення широкий нерівномірно, та, окрім цього, має найбільш широкий вигляд в зоні прикладання навантаження та розташований посередині доріжки кочення.

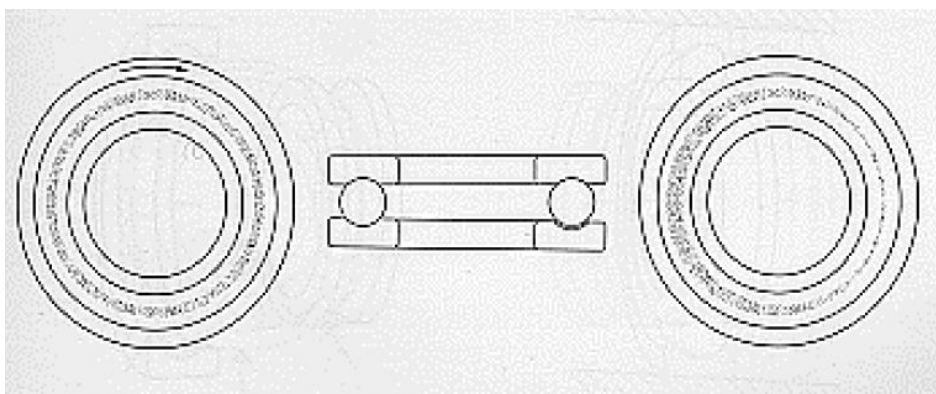


Рисунок 2.13 - Сліди обертання на підшипнику з перекосом вільного кільця

Виходячи з того, які сліди кочення були виявлені при дефектації різних підшипників, можна зробити висновок, що сліди кочення можуть показати в яких умовах працював підшипник кочення, які навантаження він витримував та під яким кутом, яким був радіальний зазор, оптимальним чи ні. Також слід

зазначити, що за допомогою слідів кочення, як допоміжного засобу, можна оцінювати дефекти тіл кочення та внутрішнього і зовнішнього кілець.

Отже, виходячи з того, які сліди кочення утворюються при нормальних експлуатаційних параметрах та при несприятливих умовах, можна зробити висновок, що в подальшому потрібно виконувати додаткові та більш ретельні дослідження деталей підшипника.

2.2 Пошкодження підшипників, що пов'язані з дією зовнішнього середовища

2.2.1 Корозія на деталях підшипників

Досить поширеним дефектом є корозія та іржа, які представляють собою плями на поверхнях кілець та елементів кочення та можуть зустрічатися з інтервалом, який відповідає кроку елементів кочення на кільцях або по всій поверхні підшипника.

Було виділено декілька найбільш вірогідних причин, які вплинули на появу корозії та іржі на елементах підшипників, а саме [10]:

- 1) контакт з агресивним газом або водою;
- 2) невідповідний змащувальний матеріал;
- 3) утворення капель води в результаті конденсації вологи;

на рис. 2.14 та 2.15 зображено наслідок утворення капель води у нерухомому стані під час зберігання. Картиною дефекту є іржа кратерного виду на поверхні контакту кочення.



Рисунок 2.14 – Внутрішнє кільце підшипника з сферичними роликами



Рисунок 2.15 – Ролики сферичного роликopідшипника

- 4) висока температура та висока вологість у нерухомому стані;
- 5) погана профілактична антикорозійна обробка;
- 6) невідповідні умови зберігання;
- 7) неправильне обслуговування.

Корозія під дією електричного струму зображена на рис. 2.16 та 2.17.

Картина явища полягає в тому, що, коли через підшипник проходить електричний струм, відбувається дуговий пробій та горіння тонкого слою змазки в точках контакту між доріжкою та елементами кочення. Точки контакту локально оплавляються, як наслідок, утворюються дугоподібні канавки, які помітні неозброєним оком. При збільшенні цих канавок

виявляються кратероподібні поглиблення, які вказують на плавлення від іскріння.

Основними причинами появи корозії від електричного струму є:

- 1) електрична різниця потенціалів між внутрішнім та зовнішнім кільцями;
- 2) різниця електричних потенціалів високої частоти, генерування інструментом або підложкою, розташованої поряд з підшипником.

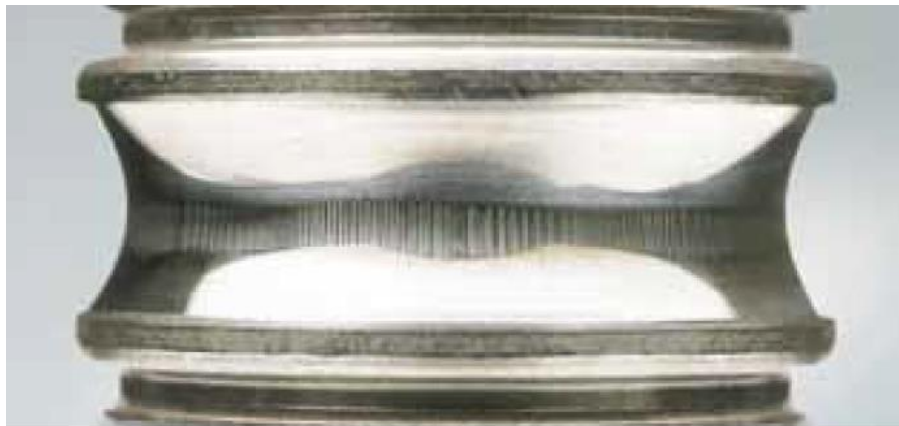


Рисунок 2.16 – Внутрішнє кільце шарикопідшипника



Рисунок 2.17 – Зовнішнє кільце шарикопідшипника

2.2.2 Вплив абразивних частин на підшипники

Знос представляє собою ушкодження поверхні внаслідок тертя ковзання на поверхні слідів обертання, елементів кочення, краю ролика, поверхні бортика, вікон сепаратора та інше [10].

Можна зробити висновки щодо ймовірних причин утворення дефекту, а саме:

1) проникнення чужорідних частин;

На зразку, зображеного на рис. 2.18, видно знос хвилеподібної або увігнуто-опуклу структуру зі сторони навантаження по поверхні доріжки кочення.

2) розвиток іржі та електрохімічної корозії;

На рис. 2.19 видно, що на внутрішньому кільці підшипника кочення з циліндричними роликами, є багато слідів виразкової корозії в результаті електрохімічної корозії та хвилеподібний знос на поверхні слідів обертання.

3) недостатньо змащення;

4) ковзання в результаті нерівномірного руху елементів кочення.



Рисунок 2.18 – Внутрішнє кільце підшипника



Рисунок 2.19 – Зовнішнє кільце підшипника кочення

2.3 Пошкодження, що пов'язані з монтажем

Робота підшипника при наявності тріщин на елементах підшипників кочення може викликати дуже серйозні проблеми, а саме повне руйнування підшипника та відмова двигуна під час експлуатації.

Тому, при виявленні тріщин на будь-яких елементах підшипника, його слід бракувати та ставити новий.

Нижче буде представлено основні ймовірні причини, які можуть вплинути на появу даного дефекту, а саме [10]:

- 1) посадка з надмірним натягом;
- 2) надмірне навантаження, ударне навантаження;

На рис.2.20 зображено один підшипник, на якому були утворені тріщини через великі посадкові навантаження.



Рисунок 2.20 – Внутрішнє кільце сферичного роликпідшипника

- 3) розвиток втомного викривлення;

4) тепловиділення та стирання, які викликані контактом між деталями та доріжкою кочення;

На ролику, зображеного на рис. 2.21, було виявлено термічні тріщини на торцевій поверхні, через ковзання по бурту внутрішнього кільця, та , як наслідок, тепловиділення в умовах поганого змащення.



Рисунок 2.21 – Ролик конічного упорного роликопідшипника

Також на зовнішньому кільці дворядного циліндричного роликопідшипника є ті ж самі термічні тріщини, як і на ролику, на боковій поверхні зовнішнього кільця, як на рис. 2.22.



Рисунок 2.22 – Внутрішнє кільце сферичного роликопідшипника

5) тепловиділення внаслідок повзучості;

6) малий кут конусності вала;

7) не циліндричність вала.

Ушкодження сепаратора є одним з найбільш небезпечних дефектів, тому що під час роботи сепаратор витримує дуже великі ударні навантаження та забезпечує рівномірне розташування тіл кочення по всьому діаметру підшипника.

Після перевірки підшипників ми виділили декілька вірогідних причин, які могли вплинути на появу ушкоджень сепаратора, а саме:

1) неякісний монтаж;

Даний дефект, зображений на рис. 2.23 та 2.24, є на сепараторі радіально - упорного шарикопідшипника та циліндричного роликотепідшипника, на якому видно, що сепаратор деформований під час встановлення його на вал.



Рисунок 2.23 – сепаратор радіально - упорного шарикотепідшипника



Рисунок 2.24 – сепаратор циліндричного роликотепідшипника

2) велике миттєве навантаження;

3) ударне навантаження та сильні вібрації;

- 4) недостатньо змазки;
- 5) підвищення температури.

Як наслідок вказаних вище ймовірних причин слід побачити, які дефекти можуть утворюватись під час експлуатації підшипникового вузла.

Нажаль, виявити єдину дійсну причину появи дефектів, зображених на рис. 2.25 – 2.27, дуже важко, тому що такі ушкодження утворюються, у більшості випадків, під дією декілька причин, які впливають на оптимальну роботу підшипників.



Рисунок 2.25 – Сепаратор радіально-упорного шарикопідшипника



Рисунок 2.26 – Сепаратор конічного роликопідшипника



Рисунок 2.27 – Сепаратор циліндричного роликopідшипника

2.4 Пошкодження, які пов'язані з системою змащення

Картина явища дефекту втомного відшарування полягає в відколюванні мілких частин матеріалу підшипника від гладкої поверхні слідів обертання або елементів кочення в результаті явища втоми при коченні, у зв'язку з чим, виникають ділянки з шорсткістю та крупнозернистою структурою поверхні [10].

Опираючись на власні дослідження та офіційні результати дефектації підшипників підприємств – виробників, можна зробити висновок щодо ймовірних причин впливу на виникнення даного дефекту, а саме:

1) надмірне навантаження;

На рис. 2.28 зображені деталі підшипників на яких було виявлено втомне відшарування тільки одного сліду обертання по всій периферії.



Рисунок 2.28 – Внутрішнє та зовнішнє кільця сферичного роликopідшипника

2) неякісний монтаж;

- 3) миттєве навантаження;
- 4) проникнення чужорідних частин, проникнення води;
- 5) недостатньо змазки;

На одному з підшипників знайшли втомне відшаровування тільки одного ряду слідів обертання, зображеного на рис. 2.29.



Рисунок 2.29 – Внутрішнє кільце сферичного роликopідшипника

- 6) невідповідна точність обробки поверхні вала або корпусу, нерівномірна жорсткість корпусу, великий згин вала;
- 7) розвинення іржі, слідів виразкової корозії, вибоїни.

На рис.2.30 показано деталі підшипників на яких розвинулося втомне відшаровування внаслідок вибоїн, які утворилися в результаті ударного навантаження в нерухомому стані.



Рисунок 2.30 – Елементи радіально-упорного шарикopідшипника

Отже, були проведені дослідження та дефектація декількох підшипників, проведено аналіз причин виникнення різних дефектів на елементах підшипникових вузлів, виявлених під час дослідження, та на підставі виконаних дослідів побудована діаграма причини та результату, яку наведено у додатку А.

На ній ми змогли поєднати декілька причин, які впливають на виникнення дефектів під час експлуатації, в чотири великі групи, а саме:

- 1) умови складання;
- 2) змащення підшипників;
- 3) вплив оточуючого середовища;
- 4) силове навантаження.

Ці групи нам необхідні для більш детального розглядання у подальшому дослідженні. Маленькі причини, або, інакше кажучи «кістки», мають прямий вплив на ушкодження, які утворились під час роботи. Тому для того, щоб зменшити кількість дефектів у наступних підшипниках, нам потрібно прийняти корегуючі заходи.

3 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПИНКОВИХ ВУЗЛІВ

На підставі виконаної діаграми причини – результату в розділі 2 основною задачею цієї роботи є розробка заходів щодо впливу на причини, які впливають на виникнення тих чи інших ушкоджень, які розглянуті вище.

3.1 Заходи, які направлені на підвищення ресурсу підшипників при пошкодженнях від навантажень

При прояві пошкоджень підшипникових вузлів від радіального або осьового навантажень, які діяли на підшипник під час експлуатації, можна застосувати декілька методів щодо підвищення часу роботи підшипника в авіаційному двигуні.

Один із методів полягає в тому, що необхідно повернути нерухоме кільце, на якому утворилися сліди кочення, на 180° задля запобігання утворення в подальшому відшарування металу під впливом експлуатаційних навантажень.

На рисунку 3.1 зображено, що після повертання нерухомого кільця слід кочення буде розташовуватися в зоні меншої дії тіл кочення, що запобігає подальше вминання та відпрацювання поверхневого шару доріжки кочення.

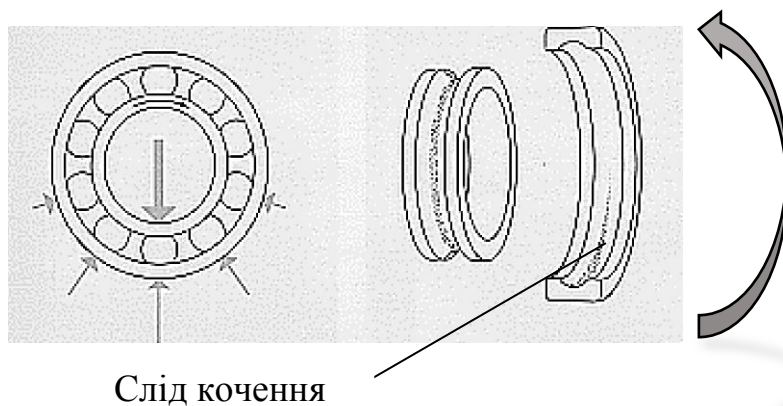


Рисунок 3.1 – Приклад сліду кочення та повертання нерухомого кільця на 180°

При повертанні нерухомого кільця підшипника однією з основних проблем є те, що при первинному встановленні кільця підшипника на вал максимальне радіальне биття по поверхні вала та кільця розводяться у протилежному напрямку, але коли кільце перевертають на 180° може виникнути співпадання радіального биття вала та кільця.

Тому при потраплянні вала в ремонт та нанесенні на посадковий діаметр під підшипник слід виконати наступні дії:

1) Необхідно визначити, як буде розташовуватися кільце підшипника на валу після перевертання на 180° ;

2) Так як посадкову поверхню вала будуть шліфувати в патроні та центрах, слід визначити максимальне значення відхилення від круглості на патроні. Даний захід зможе спланувати приблизне положення максимального радіального биття на валу після виконання механічної обробки;

3) Встановити вал в патрон так, щоб місце з максимальним відхиленням від круглості було розташовано протилежно місцю максимального радіального биття на кільці підшипника;

Завдяки виконаних переходам можливо виконати фінішну операцію на посадковій поверхні вала з розташуванням максимального радіального биття в тому місці, в якому нам необхідно.

Таким чином ми запобігаємо співпадання максимального радіального биття кільця та посадкового діаметру вала.

Вплинути на запобігання утворення слідів кочення на доріжках кочення підшипників неможливо, тому що кожен підшипник під час експлуатації сприймає вагомі навантаження. Під час конструювання АД під кожну опору обирається підшипник, який відповідає вимогам того чи іншого вузла за усіма параметрами.

Якщо виникла ситуація, коли нерухоме кільце підшипника вже перевірили, тоді слід виконати заміри для визначення твердості поверхневого шару доріжки кочення, щоб визначити можна чи ні ставити підшипник на наступний міжремонтний ресурс.

За допомогою мікротвердоміра виконуються заміри мікротвердості по методу Віккерса та визначається дійсне значення мікротвердості поверхневого шару металу та порівнюється з граничними значеннями мікротвердості. Якщо дійсне значення близько до граничного або дорівнює йому, тоді цей підшипник потрібно бракувати задля запобігання руйнування його під час експлуатації.

3.2 Заходи, які впливають на зменшення дії зовнішнього середовища

Під час експлуатації АД до підшипникового вузла потрапляють чужорідні частини, які при потраплянні до зони кочення, наносять пошкодження тілам та доріжкам кочення.

Для того, щоб зменшити кількість цих частин потрібно прийняти попереджувальні заходи, які направлені на покращення конструкції підшипникового вузла.

Одним із таких заходів є застосування найбільш діючого виду ущільнення.

Насамперед, ущільнення опор АД повинні забезпечувати:

- 1) потребує герметичність протягом усього ресурсу;
- 2) мінімально можливе тертя, зношування та тепловиділення;
- 3) функціонування вузла після довготривалого зберігання;
- 4) працездатність при взаємних осьових та радіальних переміщеннях деталей статора та ротора під час роботи;
- 5) технологічність виготовлення та складання АД.

Якщо порівнювати різні види ущільнень по трьом факторам, а саме: експлуатаційні (висока або низька температура, високий тиск, значні деформації, вібрації та інше), техніко – економічні (ресурс, вартість та інше) та конструктивно – технологічні (габарити, вага, конструктивна простота та технологічність), то можна виділити три основні типи ущільнень, які застосовуються найчастіше в АД [11]:

- 1) лабіринтні ущільнення;

- 2) ущільнення з плаваючими кільцями;
- 3) торцеві газодинамічні ущільнення.

Замість лабіринтних ущільнень, які дуже поширені в конструкціях АД, можна застосовувати радіально – торцеві контактні ущільнення (РТКУ) та торцеві газодинамічні ущільнення (ТГДУ).

РТКУ характеризуються конструктивною простотою, відсутністю гумових кілець та інших додаткових елементів, які зменшують надійність. Вони більш навантажені, ніж торцеві контактні ущільнення (ТКУ). Тому їх використання при високих перепадах тиску потребує осьового розвантаження графітового кільця. Для цього зазвичай застосовують газодинамічні камери. В двигуні Д-30Ф6 використовується РТКУ, у якого на торці втулки, яка обертається, виконано декілька десятків камер Релея глибиною 0,01 мм. Дане ущільнення працездатне при перепаді тиску до 0,46 МПа, швидкості обертання до 100 м/с, температурі до 683К. Втрати через ущільнення не перевищують 2 г/с. Конструкція РТКУ двосторонньої дії (графітове кільце з обох сторін взвішено на газовій плівці) використовується у двигуні Д-18Т (рис.3.2).

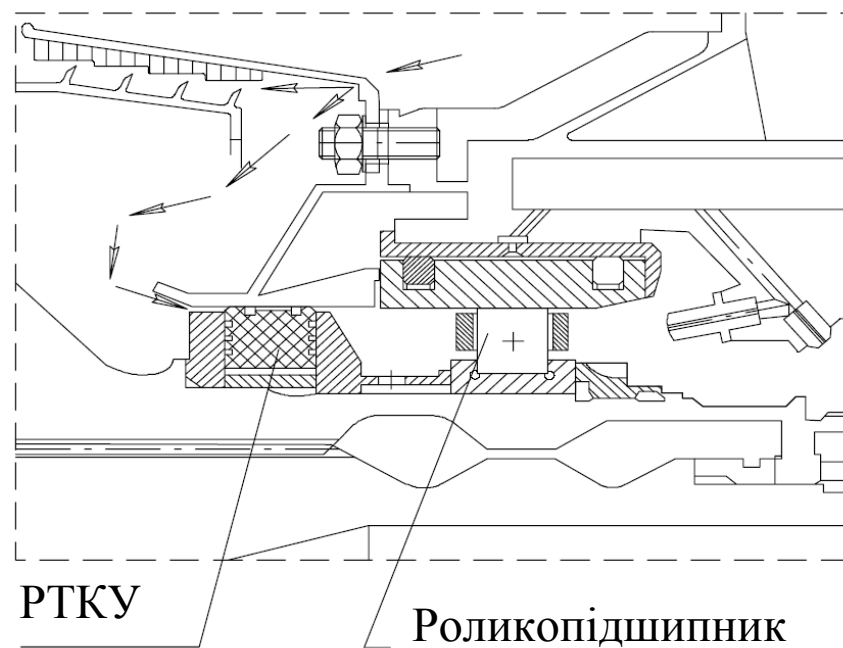


Рисунок 3.2 – Опора вентилятора двигуна Д-18Т

Також альтернативою для вирішення проблем з дією зовнішнього середовища є система ТГДУ, застосування якої є обов'язковим для розроблюваних компресорів.

Вузли ущільнення на основі с.

ТГДУ складається з твердосплавного кільця, яке обертається та закріплене на валу, та аксіально – рухомого вуглецевографітового кільця, яке розташовано всередині корпусу, попереднє піджаття яких здійснюється пружинами. На обертовому кільці є напірна ділянка, на якій виконані газодинамічні камери глибиною 0,006...0,01 мм, а також ущільнювальний кільцевий пояс, який відділяє порожнину високого тиску від порожнини низького тиску. В якості вторинних ущільнень використовуються гумові ущільнювальні кільця (рис.3.3).

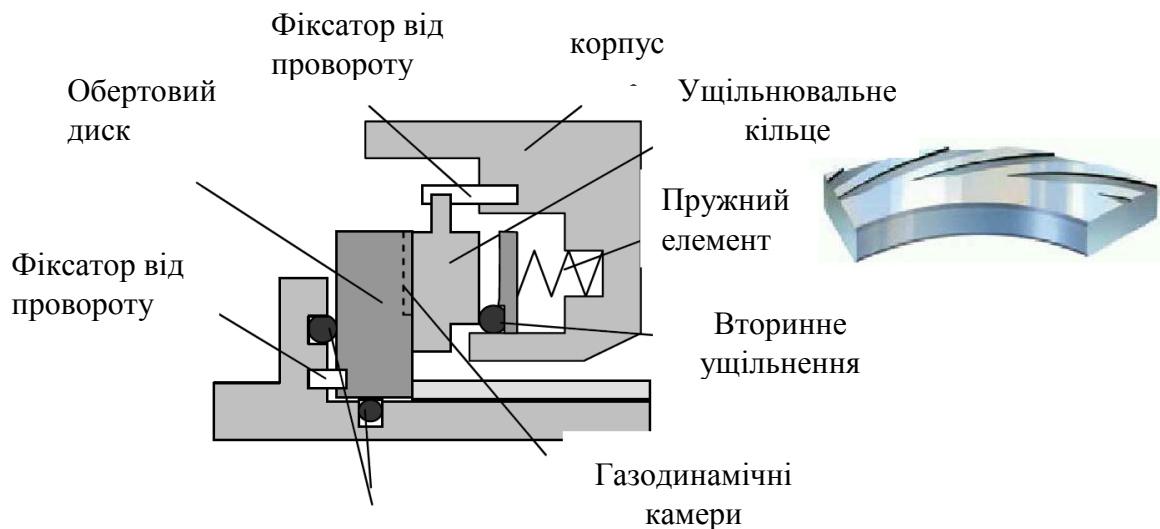


Рисунок 3.3 – Схема ТГДУ

Але при проектуванні ТГДУ слід вирішити ряд взаємопов'язаних задач. Для утворення газодинамічного тиску здійснюється нагнітання ущільнювального середовища поверхнею, яка обертається, в зазор. Особливо газодинамічно ефективні плоскі клиновидні та ступінчасті щілини, у яких глибина порівняна з мінімальною величиною зазору. Найчастіше використовуються спіральні канавки з постійною глибиною декілька мікрометрів та камери Релея, які спрямовані в сторону обертання (рис.3.4).

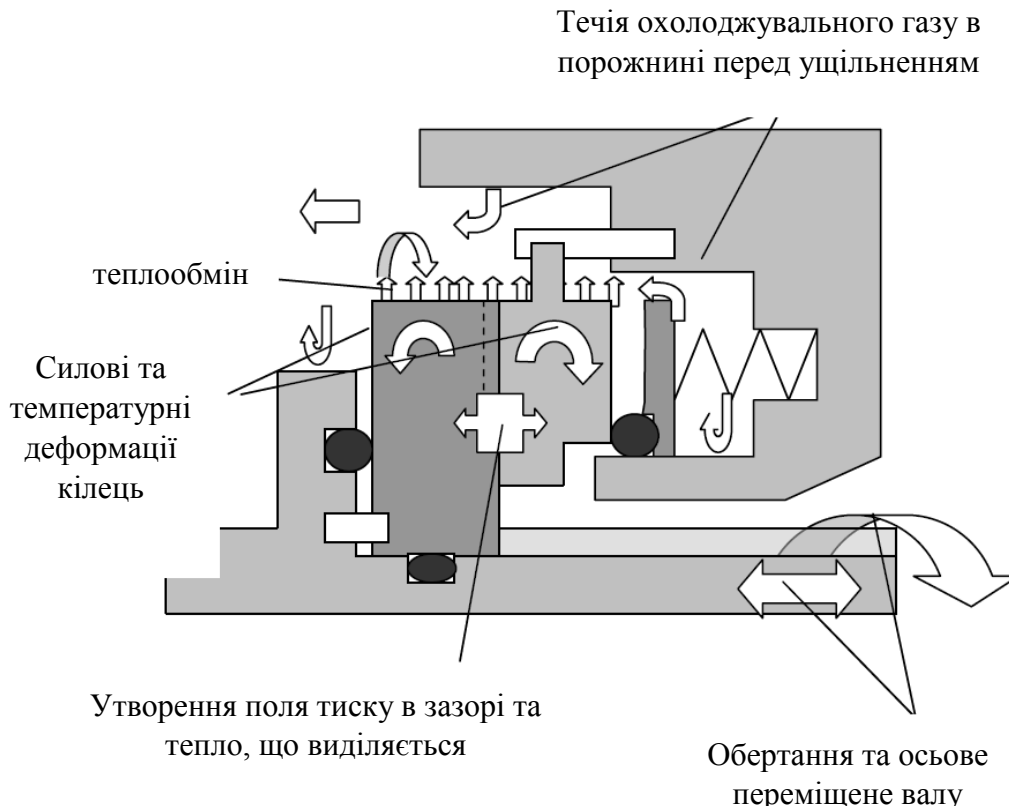


Рисунок 3.4 – Умови, що слід враховувати при проектуванні ТГДУ

3.3 Заходи, які спрямовані на зменшення пошкоджень від монтажу

Під час складання або розбирання підшипникового вузла деталі, які закріплені один відносно одного з натягом, потребують дуже відповідального ставлення до виконання операцій з ними. При виконанні цих операцій зазвичай виникають такі складності, як:

- 1) невідповідна посадка;
- 2) слабке закріплення кілець;
- 3) невідповідний інструмент;
- 4) неправильна установка;
- 5) бруд.

При виконанні операцій складання підшипникового вузла можна застосовувати декілька оптимальних методів, які покращать здійснення даних операцій [3].

При встановленні кільця підшипника на вал чи в корпус з натягом без відповідних приладів можна нанести пошкодження на торець кільця та посадковий діаметр вала або корпусу, тому для зменшення зусилля, яке необхідне при запресуванні підшипникового кільця, можна нагрівати підшипник за допомогою електричних плит та індукційних нагрівачів (рис.3.5).

Температура нагріву зазвичай перевищує температуру сполучної деталі на 80...90°C, але задля уникнення змін в структурі металу вона не повинна перевищувати 120...125°C.

Індукційний нагрівач признаний у світовій передовій практиці найбільш оптимальним способом при встановленні підшипників на циліндричні вали. У порівнянні з традиційними методами нагріву він є набагато екологічним та безпечним.

На рисунку 3.6 зображено принцип дії індукційного нагрівача, який полягає у нагріванні вторинної обмотки трансформатора. На сталевому магнітопроводі 1 є первинна обмотка з великою кількістю витків 2. Підшипник 3 виконує роль вторинної коротко-замкнутої обмотки. Співвідношення напруги на первинній та вторинній обмотках дорівнює відношенню числа витків на них, у той час як потужність залишається постійною. Таким чином в підшипнику циркулює великий струм малої напруги, що викликає його інтенсивний розігрів. При цьому первинна обмотка та магнітопровід не нагріваються.

Внаслідок електромагнітної індукції при індукційному нагріві підшипник намагнічується. Тому важливо забезпечити розмагнічування підшипника, щоб він не притягував металеві частини.



Рисунок 3.5 – Моделі індукційних нагрівачів

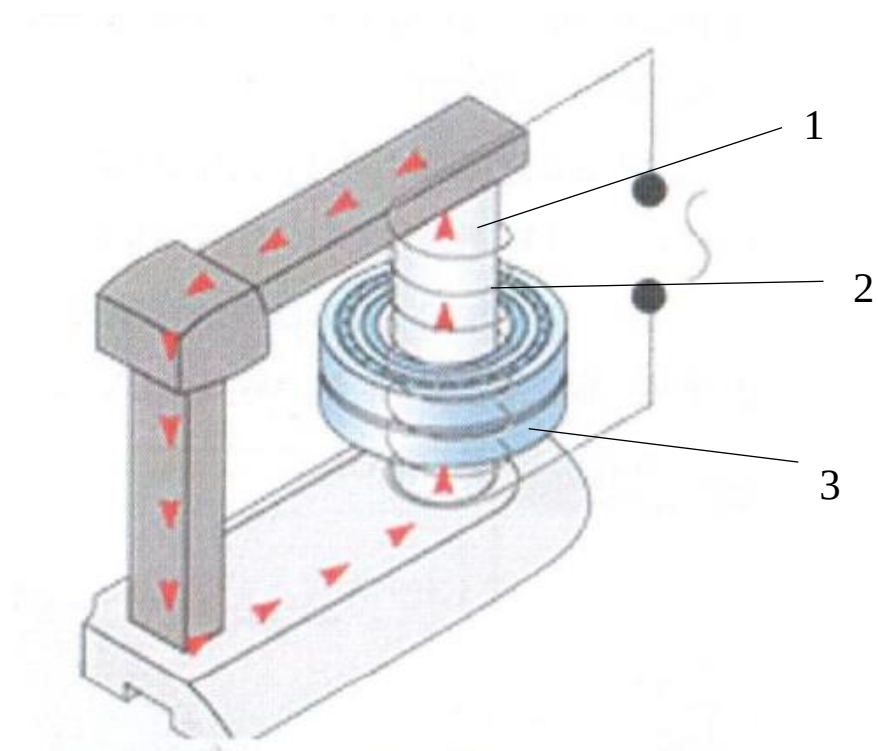


Рисунок 3.6 – Принцип дії індукційного нагрівача

Також для встановлення підшипника на вал з натягом можна застосовувати гідравлічну гайку (рис.3.7 а). Гайка нагвинчується на вал, або при відсутності різі – кріпиться на валу за допомогою допоміжних деталей (рис.3.7 б).

При цьому поршень гайки встановлюється з упором в торець внутрішнього кільця підшипника. Подача мастила переміщує поршень відносно гайки, забезпечуючи посадку підшипника з натягом на вал, та відповідне зменшення зазору в підшипнику. Після цього гайку знімають та проводять стопоріння підшипника на валу.

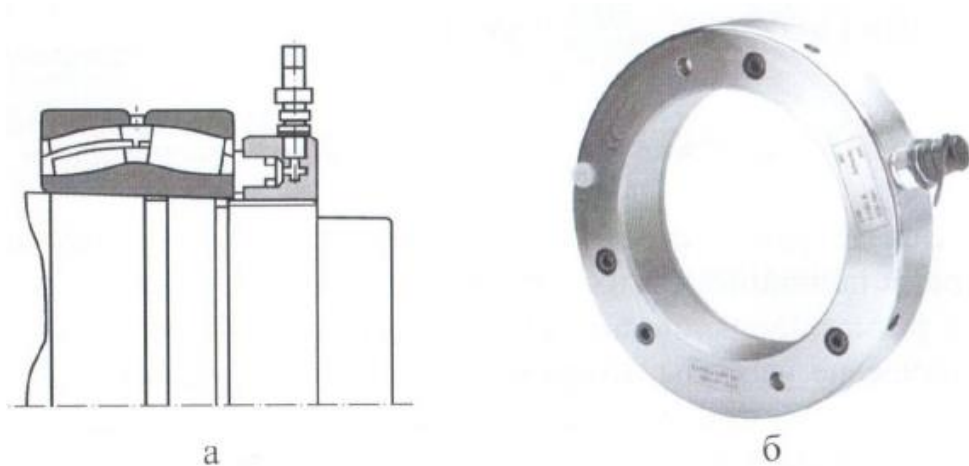


Рисунок 3.7 – Схема встановлення підшипника за допомогою гідравлічної гайки (а) та зовнішній вид гайки серії NMV (б)

Під час виконання технологічних операцій, пов'язаних з підшипниками, також є розбирання підшипникового вузла. Виконання цієї операції повинно відповідати наступним вимогам: якість посадкових поверхонь не повинна погіршуватися, трудомісткість розбирання повинна бути мінімальною.

Для виконання цих вимог слід застосовувати наступний інструмент: механічні та гідравлічні знімачі, слюсарний інструмент, ударні ключі, приладдя для гідравлічного розпресування.

Розбирання підшипників, які встановлені з натягом безпосередньо на вал або в корпус краще за все проводити з використанням ручного або гідравлічного пресу (рис.3.8).

Для знімання підшипників за допомогою гідравлічних або механічних знімачів на валу (рис.3.9 та 3.10) повинні бути передбачені канавки. Якщо захвати знімача не достають до борта внутрішнього кільця підшипника можливо прикладання зусилля через суміжну деталь (рис.3.11).

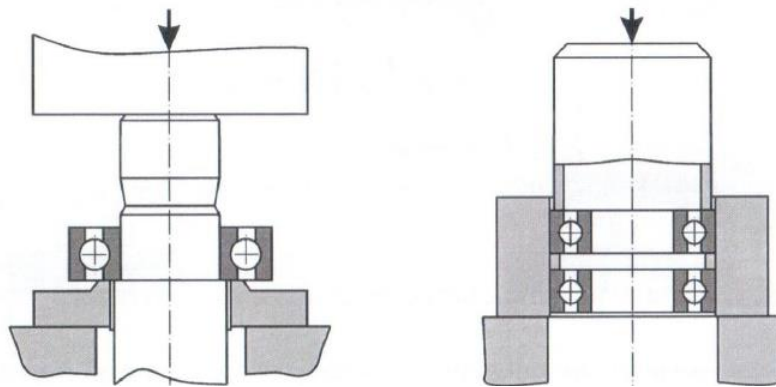


Рисунок 3.8 – Знімання підшипників, встановлених на вал або в корпус з натягом



Рис.3.9 – Види гідравлічних знімачів



Рисунок 3.10 – Види механічних знімачів

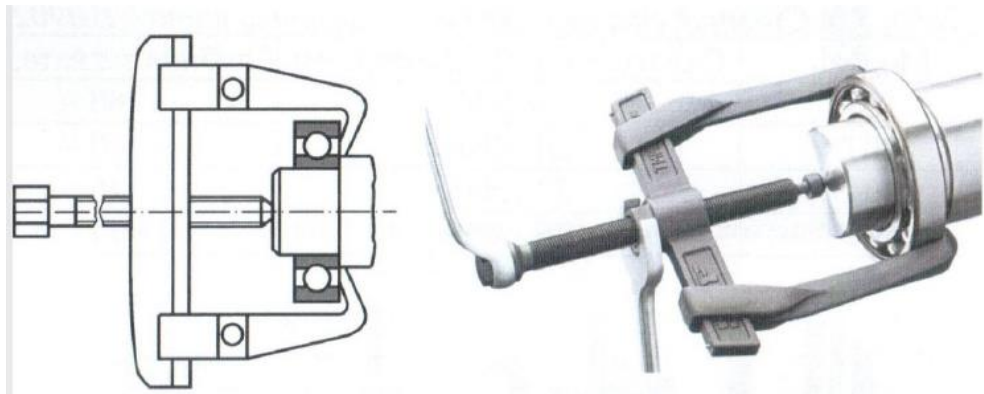


Рисунок 3.11 – Схема знімання підшипника з вала

Знімання підшипників кочення за допомогою індукційного нагріву найбільш зручний для внутрішніх кілець роликових циліндричних підшипників. Розміри нагрівача та форма його конструкції залежать від габаритних розмірів та конструкції підшипникового вузла.

Якісне складання та розбирання підшипникових вузлів зі збереження цілісності деталей підшипників кочення та корпусних деталей вузлів неможлива без застосування відповідних сучасних технологій, інструментів та приладдя. Наявність відповідного інструмента та пристосувань скорочує час роботи по встановленню та зніманню підшипників кочення.

3.4 Заходи, щодо покращення умов змащення

Надійність роботи підшипників кочення напряму залежать від якості їх змащення. Масто підшипників є найбільш ефективною операцією технічного обслуговування, яка необхідна для забезпечення довготривалої роботи як підшипникових вузлів, так і авіаційних двигунів в цілому.

На основі побудованої діаграми причини та результату видно, що одними з основних причин появи пошкоджень, які пов'язані з мастом, є:

- 1) невідповідний змащувальний матеріал;
- 2) надмірна або недостатня кількість мастила.

Для вирішення причини, яка залежить від кількості мастила, необхідно переглянути варіант конструкційного виконання підшипникового вузла та визначитись з найбільш діючим та оптимальним методом подачі мастила [11].

Існують два основні способи подачі мастила до підшипників. Перший – через систему струменевих форсунок, які подають струмені мастила на тіла кочення через зазор між внутрішнім кільцем та сепаратором. Другий – підвод мастила через вал, коли на внутрішній поверхні вала утворюють мастильну ванну з підвищеним тиском та мастило на тіла кочення подається через отвори в стінках вала та внутрішньому кільці.

Границя оптимальності способів подачі мастила на тіла кочення підшипників визначається можливістю потрапляння мастила на тіла кочення. Це визначається коефіцієнтом швидкохідності $d_m \cdot n$, де d_m – середній діаметр підшипника по центрам тіл кочення в мм, n – частота обертання в об/хв (табл.3.1).

При $d_m \cdot n > 2,2 \cdot 10^6$ мастило, яке подається через форсунки не досягає усієї поверхні тіл кочення. При коефіцієнті швидкохідності більше ніж $3,5 \cdot 10^6$ можливо виконувати подачу мастила тільки через вал, так як при боковій подачі через форсунки будуть охолоджуватися лише бокові поверхні тіл кочення зі сторони подачі.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти швидкохідності та способи підводу мастила

	Коефіцієнт швидкохідності $d_m \cdot n$	Спосіб підводу мастила
А	До $2,2 \cdot 10^6$	форсунками
Б	$2,2 \dots 3,5 \cdot 10^6$	змішаний підвод
В	більше $3,5 \cdot 10^6$	через вал

Для рівномірного охолодження нерухомого кільця підшипника кочення, щоб уникнути спотворення його геометрії, мастило на підшипник слід подавати через декілька форсунок ($z = 3 \dots 6$), які рівномірно розташовані по окружності. Потрібну витрату мастила через одну форсунку, виходячи з витрати мастила на підшипник, дорівнює q_m :

$$q_\Phi = \frac{q_m}{z}. \quad (3.1)$$

Геометричні параметри форсунки визначаються з рівняння витрати:

$$q_\Phi = \mu_\Phi \cdot F_c \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_m \cdot \Delta P_\Phi}, \quad (3.2)$$

де ρ_m – щільність мастила;

ΔP_Φ – перепад тиску на форсуні = 0,3 ... 0,35 МПа;

Коефіцієнт витрати форсунки (відношення дійсної витрати до теоретичної):

$$\mu_\Phi = \frac{q_\Phi}{q_{\Phi m}} \quad (3.3)$$

Площа сопла форсунки, мм²:

$$F_c = \frac{\pi d c^2}{4}; \quad (3.4)$$

$d\phi$ - діаметр сопла форсунок в опорах компресора для роликових підшипників дорівнює 1,2 ... 1,5 мм, для інших – 4 ... 5 мм.

Для отримання найбільшого ефекту «прострілу» мастила між тілами кочення, щоб забезпечити подачу «холодного» свіжого мастила на тіла кочення, вісь сопла форсунки повинна бути орієнтована відносно площини обертання та спрямована в точку, яка розділяє навпіл зазор між внутрішнім кільцем та сепаратором.

Якщо виконана подача мастила через вал, тоді в основі такого вибору є ефект обертання сосуду з рідиною, коли вісь обертання розташована горизонтально, а кутова швидкість ω настільки велика, що силою тяжіння можна знехтувати у порівнянні з відцентровими силами.

Для того, щоб зменшити вплив зовнішніх факторів на появу пошкоджень слід вибрати раціональну форму елементів підводу мастила до підшипника.

Тому при проектуванні опори найчастіше застосовують підвод мастила через внутрішнє кільце підшипника (рис.3.12). Мастило через чотири форсунки безперервно потрапляє на спеціальне кільце з радіальними каналами, звідкіля потрапляє в канавки, які виконані в підшипнику та поступають всередину по осьовим каналам. Тривимірна модель підшипника з форсунками та мастильним кільцем зображена на рис.3.13.

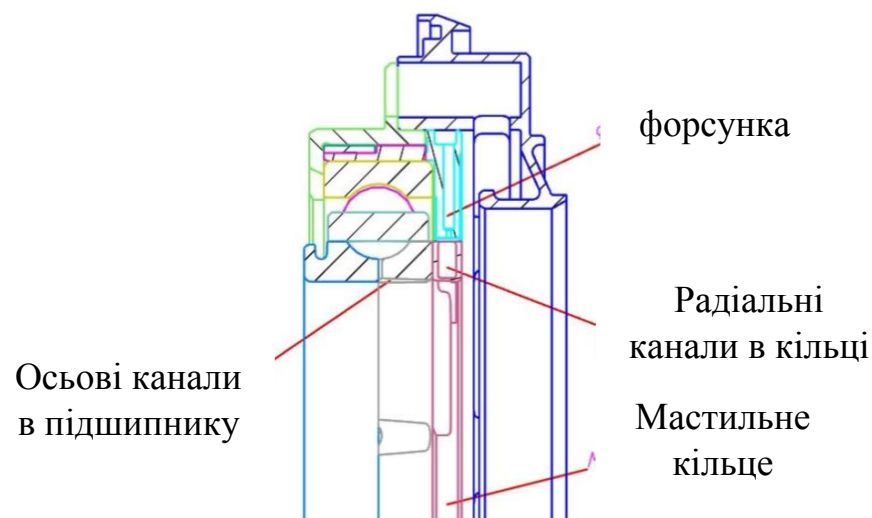


Рисунок 3.12 – Конструкція системи подачі мастила в підшипник

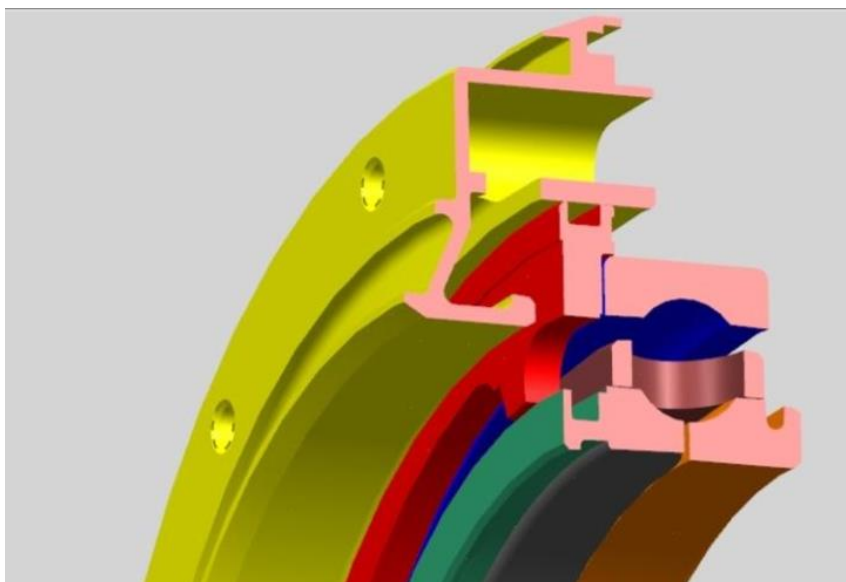
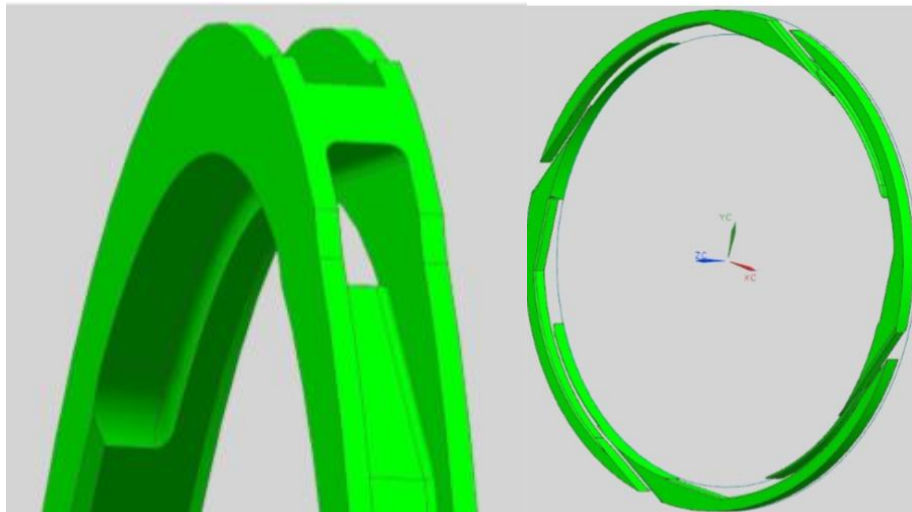


Рисунок 3.13 – Тривимірна модель

Розглянемо кільце з чотирма каналами (рис.3.14). Форму каналу можна побачити на рис.3.15 а. Для газодинамічного аналізу необхідно створити розрахункову область течії мастила. Отриману модель можна побачити на рис.3.15 б.



Рисунок 3.14 – Кільце з чотирма каналами



а)

б)

Рисунок 3.15 – Канал в кільці (а) та розрахункова область течії всередині каналу (б)

Вихідними даними для розрахунку є властивості мастила, витрати мастила на вході в форсунки, тиск на виході з підшипника, кутова швидкість обертання підшипника з кільцем та тиск зовні області повітряного прошарку:

$T_{G_{\text{вх}}} = 18 \text{ г/с}$ – витрати мастила на вході в одну форсунку;

$P_{\text{вих}} = 100000 \text{ Па}$ – тиск зовні підшипника;

$\omega_{\text{подш}} = 1200 \text{ рад/с}$;

$D_{\text{форсунки}} = 1,3 \text{ мм}$ – діаметр вихідного отвору форсунки.

Течія є двофазною, суцільною фазою є повітря всередині підшипника, дисперсною – мастило ИПМ10 з діаметром капель 0,013 мм. Сумарна витрата мастила через форсунку 72 г/с.

Вектор швидкості зображений на рис.3.16. Розподіл мастильної фази всередині розрахункової області на рис.3.17.

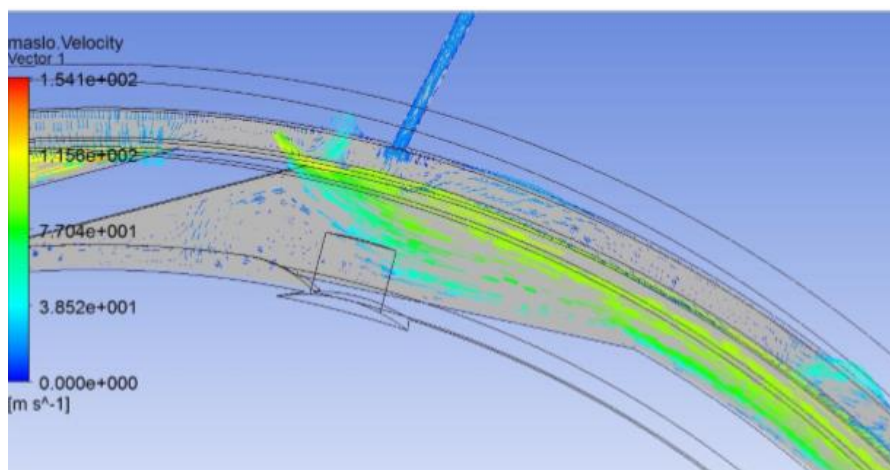


Рисунок 3.16 – Вектори швидкості мастила перед входом в канал кільця

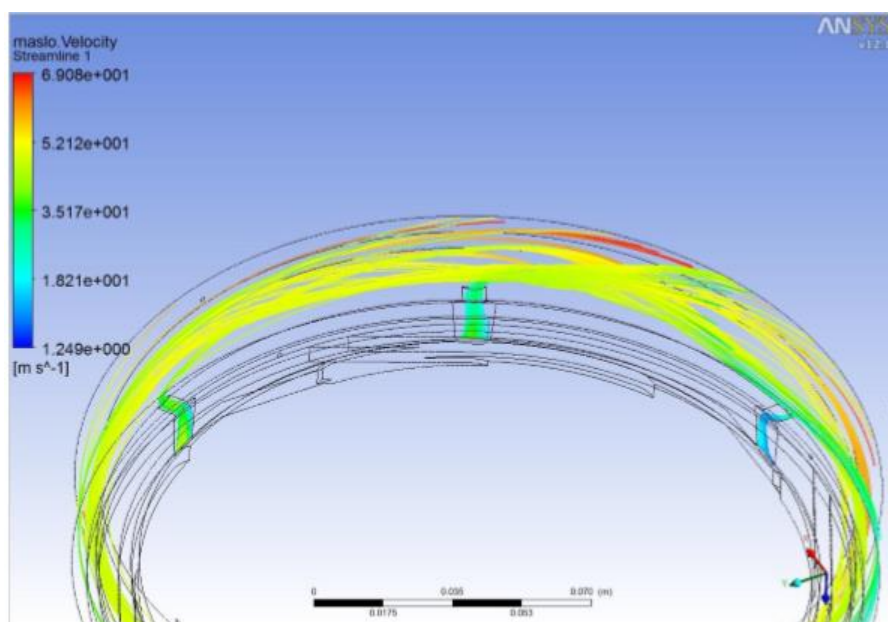


Рисунок 3.17 Розподіл фази мастила всередині розрахункової області

При виборі відповідного мастила для підшипника кочення слід враховувати декілька факторів:

- 1) перепади тиску;
- 2) частота обертання валу;
- 3) величина конусності;
- 4) глибина та кількість канавок;
- 5) величина зазорів.

Значення масової витрати рідини зростають зі збільшенням перепаду тиску, чим більший зазор, тим вище величина втрати рідини. Потужність тертя від перепаду тиску практично не залежить.

Тому при проектуванні ущільнення для герметизації порожнин з високим перепадом тиску параметри ущільнення потрібно обирати таким чином, щоб отриманий робочий зазор забезпечував оптимальні значення витрати та потужності тертя при достатній жорсткості шару.

3.5 Заходи, які спрямовані на підвищення якості виявлення дефектів підшипників

При виконанні контролю підшипників візуальним методом можна виділити такі недоліки, як:

- 1) низька точність;
- 2) неможливість виявлення усіх існуючих дефектів через людський фактор;
- 3) велика трудомісткість;
- 4) похибка вимірювальних приладів під час геометричних замірів частин підшипників.

Тому задля виключення впливу вказаних факторів при виконанні дефектації необхідно вдосконалити процес виявлення дефектів [13].

Одним із основних рішень проблеми діагностики розвитку дефектів на частинах підшипника є застосування стенду з вібродіагностики. В результаті вібраційного аналізу підшипників стає можливим виявити: пошкодження внутрішньої та зовнішньої доріжок кочення, пошкодження елементів кочення та сепаратора, послаблення посадки, збільшення внутрішнього зазору, повертання внутрішнього кільця на валу, перекіс підшипника [14].

Стенди контролю підшипників кочення складаються з датчиків виміру вібрації, обертів та температури (рис.3.18). Результати вібродіагностики

надаються в документальному вигляді з рекомендаціями по усуненню виявлених дефектів.

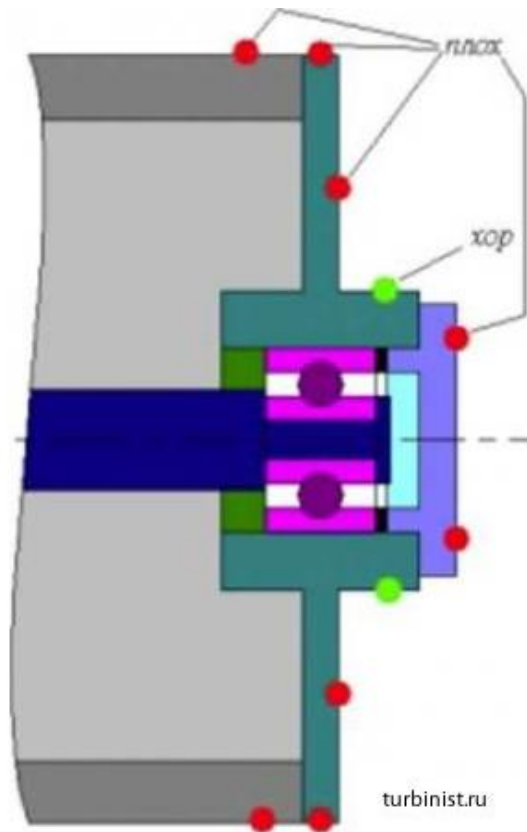


Рисунок 3.18 – Місця встановлення датчиків. «зелений» - добре, «червоний»-незадовільне місце

Найбільш оптимальним методом по всім показникам є метод огинаючої високочастотної. На рисунку 3.19 зображено етапи перетворення високочастотного сигналу в спектр огинаючої [15].

Очевидні переваги методу:

- перешкодозахищеність;
- інформативність;
- можливість виявлення дефектів на самій ранній стадії їх розвитку.

Високочастотна (ВЧ) частина спектра справного підшипника (рис.3.20) представлена деяким шумом, зумовленим силами тертя. У випадку виявлення якогось пошкодження підшипника високочастотна складова

вібрації почне модулюватися низькочастотною вібрацією, яка збуджена дефектом.

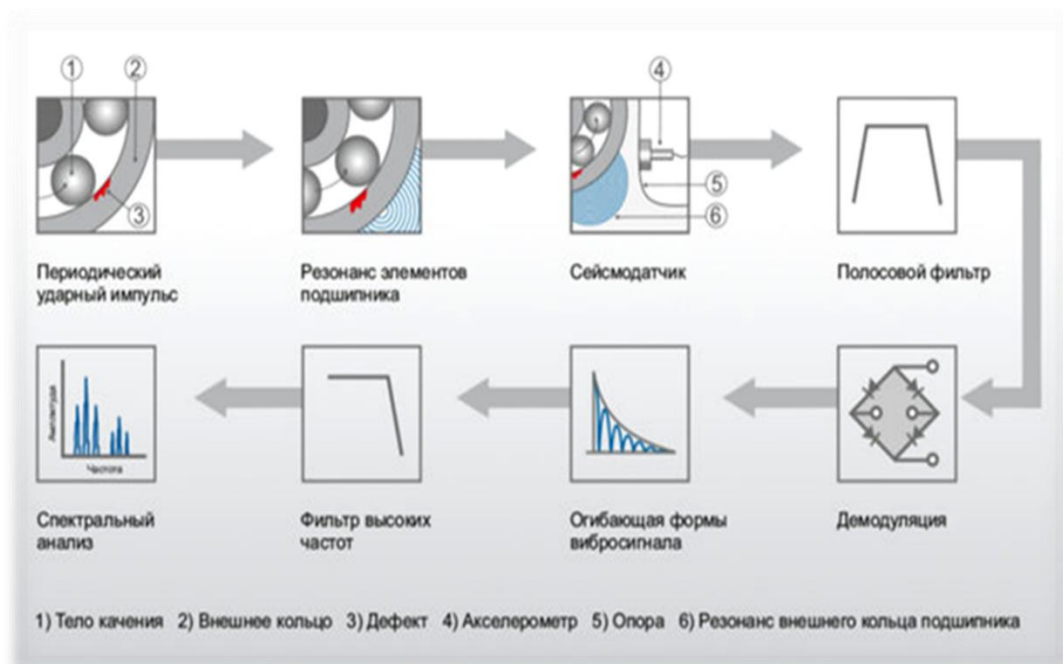


Рисунок 3.19 – Этапы перетворення високочастотного сигналу в спектр огибаючої

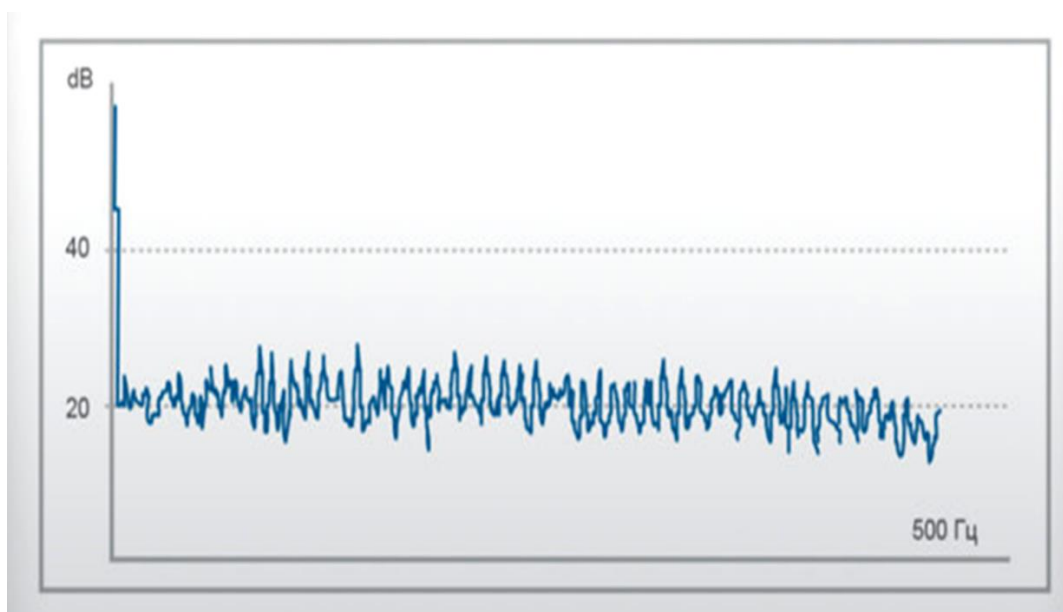


Рисунок 3.20 – Спектр огибаючої справного підшипника

Таким чином, якщо виділити із загального модульованого високочастотного сигналу його низькочастотну складову, то по частотному розташуванню амплітудних піків у спектрі огибаючої можна однозначно говорити про місце виникнення пошкодження, а по величині амплітуди – о глибині розвитку дефекту.

Наприклад, на підшипнику, який за візуальним контролем відповідав нормам, після проведення вібродіагностування виявили тріщини на внутрішньому кільці (рис.3.21).

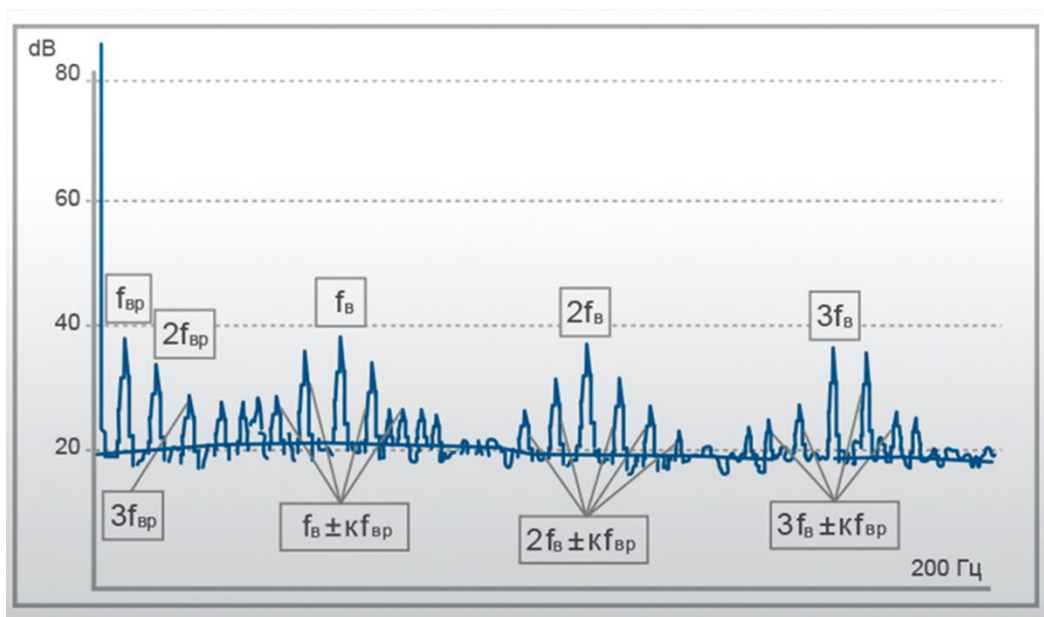


Рисунок 3.21 – Спектр огибаючої при наявності тріщини на внутрішньому кільці

Впровадження вібродіагностування підшипників кочення в виробництво АД супроводжується такими результатами:

- 1) запобігання додаткових вібраційних впливі на двигун, шляхом забракування підшипника за вібраційними показниками;
- 2) запобігання похибки вимірювальних приладів;
- 3) можливість виявлення дефектів на самій ранній стадії;
- 4) прогнозування стану підшипника на основі метода ідентифікації вібраційних моделей розвитку кожного дефекту.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

Заходи щодо підвищення надійності та якості підшипникових вузлів повинні мати не лише технологічне та конструкційне обґрунтування, а й ще економічне.

При виконанні рекомендацій щодо провороту підшипників кочення відносно прикладеного радіального навантаження констатуємо той факт, що підшипник, який був встановлений на двигун та після провороту повторно встановлюється на один міжремонтний ресурс, економить вартість одного підшипника, тому що не потрібно бракувати даний підшипник та встановлювати новий.

Під час виконання ремонту авіадвигуна в середньому знімається з подальшої експлуатації 7-9 підшипників кочення, серед них з пошкодженням від навантажень 2-3 підшипника. Задля запобігання заміни підшипників, у яких виявлені сліди кочення, слід виконати запропоновані рекомендації.

При виборі конструкції пристосувань для виконання складання або розбирання підшипникових вузлів слід враховувати час, який втрачається на виконання тієї чи іншої операції, якість виконання роботи та складність у використанні.

Тому для більш комфортного та економічного застосування слід використовувати гідравлічні гайки та знімачі.

Для наочного демонстрування розрахуємо собівартість операції при використанні механічних знімачів та гайок та з використанням гідравлічних пристосувань [12].

$$C_M = L_M \left(1 + \frac{z}{100} \right) + \frac{S_M}{N} \left(\frac{1}{i} + \frac{q}{100} \right) \quad (4.1)$$

$$C_G = L_G \left(1 + \frac{z}{100} \right) + \frac{S_G}{N} \left(\frac{1}{i} + \frac{q}{100} \right) \quad (4.2)$$

Де C – собівартість виконання однієї операції, грн;

L – штучна заробітна плата;

Z – цехові накладні на заробітну плату;

S – витрати на виготовлення пристроїв;

N – річна програма випуску;

i – термін амортизації пристроїв в роках;

q – витрати, зв'язані з утриманням, в експлуатації, %.

Для розрахунку штучної заробітної плати L необхідно знати штучний, чи штучно калькуляційний час на заробітну плату 1 робітника, який відповідає його кваліфікації.

$$L = L_{\text{шт}} \cdot 1, \text{ грн} \quad (4.3)$$

$$L_{\text{м}} = 30 \cdot 1 = 30 \text{ грн.}$$

$$L_{\text{г}} = 10 \cdot 1 = 10 \text{ грн.}$$

Цехові накладні витрати Z залежать від типу виробництва, технологічного оснащення цеху, рівня заробітної плати та інших факторів.

Витрати та затрати на базове пристосування S дорівнюють:

$$S = C \cdot D \quad (4.4)$$

$$S_{\text{м}} = 1,5 \cdot 7000 = 10500 \text{ грн}$$

$$S_{\text{г}} = 3 \cdot 10000 = 30000 \text{ грн.}$$

Де C – теперішнє, залежне від складності конструкції, пристосування;

$C = 1,5$ – для механічних;

$C = 3,0$ – для гідравлічних пристосувань.

$i = 1$ рік для механічних;

$i = 3$ роки для гідравлічних пристосувань.

Витрати на підтримку працездатності пристрою продовж терміну його експлуатації можна брати рівним 20% вартості пристосування.

$$C_m = 30 \left(1 + \frac{50}{100} \right) + \frac{10500}{400} \left(\frac{1}{1} + \frac{20}{100} \right) = 76,5 \text{ грн}$$

$$C_r = 10 \left(1 + \frac{50}{100} \right) + \frac{30000}{400} \left(\frac{1}{3} + \frac{20}{100} \right) = 52,5 \text{ грн}$$

Ефективність від заміни механічних знімачів на гідравлічні визначимо за формулою:

$$P = (C_m - C_r) \cdot A \quad (4.5)$$

Де C_m – собівартість виконання операції з механічними знімачами, грн.;

C_r – собівартість виконання операції з гідравлічними знімачами, грн.;

A – кількість виконання операції, шт.

$$P = (76,5 - 52,5) \cdot 300 = 7200 \text{ грн.}$$

Після виконаних розрахунків бачимо, що при застосуванні гідравлічних приладів собівартість операції менше ніж при застосуванні механічних приладів на 32% та визначена економічна ефективність дорівнює 7200 грн.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

При виконанні дослідницького диплому робота поділялась на два етапи:

- Виявлення дефектів за допомогою точних приладів, таких як: оптиметр, контрольно-вимірювальна машина (КВМ), яка працює під напругою та пов'язана з ПК, пристрій для вимірювання радіального зазору та інше;
- Узагальнення дослідницьких результатів та розробка рекомендацій по підвищенню якості, при цьому робота виконувалась на ПК.

Тому розглянемо потенційні небезпеки, що можуть виникати при виконанні кожного із етапів роботи.

При виконанні роботи по виявленню дефектів можуть виникнути такі шкідливі виробничі фактори:

- При виконанні замірів тих чи інших геометричних параметрів частин підшипника контролер витримує великі навантаження на зір протягом тривалого періоду часу, що, в свою чергу, може викликати проблеми з зором та непрацездатність у подальшому через проблеми з зором та не проходженням обов'язкового медичного огляду;
- Виконання вимірів здійснюється у сидячому положенні та протягом тривалого часу, при цьому м'язи спини та шиї знаходяться під дією статичного напруження, що може викликати проблеми зі спиною (викривлення хребта, остеохондроз) також однією з основних проблем може бути лишня вага, через обмежену кількість рухів. До проблем сидячої роботи можна віднести захворювання суглобів та кісток (артрит, артроз та остеопороз);
- Велика кількість вимірювальних приладів, дослідницьких зразків та захащеність робочого місця може негативно впливати на психічний стан дослідника, що може викликати зменшення ефективності, накопичування втоми та інше.

При виконанні узагальнення дослідницьких результатів та розробці рекомендації щодо підвищення якості при роботі за ПК можуть виникати такі шкідливі фактори:

- Небезпечні значення напруги живильної електромережі, замкнення якої може пройти через тіло людини у випадку доторкання до відкритих струмоведучих частин або електрообладнання чи електропроводки з порушенням ізоляції. Це може призвести до важких травм та навіть закінчитися смертю через зупинку серця;

- Перенавантаження зору при роботі з екранними пристроями, насамперед при нераціональному розташуванні екрану по відношенню до очей та ненормального освітлення робочих поверхонь в зоні відеотерміналів. Це може призвести до погіршення зору, а також підвищень втомлюваності та нервозності;

- Рентгенівське, радіочастотне, інфрачервоне , ультрафіолетове, видиме випромінювання. Дані види випромінювання видозмінюють живі клітини людського організму та можуть стати причиною розвитку будь-яких ракових утворень.

При роботі з електричними освітлювальними приладами можуть виникнути наступні шкідливі виробничі фактори:

- Можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушення цілісності електропроводки, дослідника;

- Можливість виникнення пожежі, через короткі замикання в електричних ланцюгах.

- Недостатнє освітлення, що викликає перенапругу зорових органів, в результаті чого працівник швидко втомлюється, до того ж тривала робота в таких умовах призводить до втрати зору;

- Підвищений шум, який утворюється технікою та іншим обладнанням, які призводять до психоемоційному напруженню дослідника.

Неправильні організаційні дії в умовах надзвичайних ситуацій, при ліквідації наслідків таких ситуацій, що може призвести до травмування та загибелі людей.

Контроль за кожним шкідливих та небезпечним фактором здійснюється у відповідності за нормативними документами:

- ГОСТ 12.1.001-89 «ССБТ. Ультразвук. Общие требования безопасности».
- ГОСТ ССБТ 12.1.045-84 « Электростатические поля, Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
- ГОСТ 24940-96 «Методы измерения освещенности».
- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»
- ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
- НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»
- НАОП 1.4.32-2.88-88 «ССБП. Захист від статичної електрики у виробничих приміщеннях».
- НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями»
- ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату”
- ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги»

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Обладнання, що використовується в цих приміщеннях є споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220 В від мережі з заземленою нейтраллю, та відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання.

За способом захисту людини від ураження електричним струмом відповідає згідно з ДСТУ 7237:2011 «ССБП. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» I (стаціонарні комп'ютери,) та II (освітлювальні прилади, кондиціонери, опалювальні пристрої, ноутбуки, сканери) класу захисту.

Згідно «Правилам улаштування електроустановок» (далі «ПУЕ») виконані такі групи заходів з електробезпеки:

Конструктивні заходи забезпечують захист від випадкового дотику до струмопровідних частин за допомогою їх ізоляції та захисних оболонок.

Згідно з ДСТУ 7237:2011 «ССБП. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» у приладах II класу захисту використовується подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції.

Так як згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» офісні приміщення відносяться до класу пожежебезпечної зони П-Па (приміщення, в яких містяться тверді горючі речовини), тому передбачений ступінь захисту ізоляції обладнання IP44.

Призначені для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих оболонок, які можуть опинитися під напругою в результаті аварій.

Згідно з ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» у приміщеннях галузі управління персоналом влаштовується занулення.

Експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі «ПБЕЕ») та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі «ПБЕЕС»).

Згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» для запобігання статистичного навантаження при користуванні ПК

рекомендовано використовувати перерви в роботі 10 хв. через кожні дві години. Синдром зап'ястного каналу, або тунельний синдром зап'ястя, який може бути наслідком хронічної травми, трапляється у людей внаслідок тривалої роботи з мишею: постійні напруга і здавлювання приводить до мікротравм, здавлювання нерва прилеглими оточуючими тканинами, через що виникає набряк.

Згідно з ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» враховано деякі правила організації робочого місця:

- оптимальна висота клавіатури від підлоги – 65-75 см;
- наявність ергономічних і зручних особисто для вас миші і клавіатури;
- можливість регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури – не більше 30 мм, кут підйому клавіатури – від 2° до 15°);
- наявність у клавіатури підставки для рук;
- наявність килимка для миші з захистом від тунельного синдрому (спеціальний виступ забезпечує правильне положення кисті).

При роботі з мишкою і клавіатурою також слід дотримуватися певних правил які прописані в ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

Щоб попередити тунельний синдром потрібно робити спеціальні вправи для кистей – чим частіше, тим краще. Ці вправи допоможуть поліпшити кровообігу в м'язах і розтягнути їх. Комплекс вправ потрібно повторювати приблизно кожні 45 хвилин, тривалість однієї вправи – 1-2 хв.

Нервові напруження впливає на серцево-судинну систему, збільшуючи артеріальний тиск і частоту пульсу, а також на терморегуляцію організму та емоційні стани працівника. Особливу роль у запобіганні втомі працівників відіграють професійний відбір, організація робочого місця, правильне робоче положення, ритм роботи, раціоналізація трудового процесу, використання емоційних стимулів, впровадження раціональних режимів праці і відпочинку

тощо. Боротьба зі втомою, в першу чергу, зводиться до покращення санітарно-гігієнічних умов виробничого середовища (ліквідація забруднення повітря, шуму, вібрації, нормалізація мікроклімату, раціональне освітлення тощо).

Загальні ергономічні вимоги встановлено ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования». Організація робочого місця передбачає: правильне розміщення робочого місця у виробничому приміщенні; вибір ергономічно-обґрунтованого робочого положення, виробничих меблів з урахуванням антропометричних характеристик людини; раціональне компонування обладнання на робочих місцях; врахування характеру та особливостей.

Планування та розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути меншою за 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

Необхідно також врахувати розміри меблів на комп'ютеризованих робочих місцях, зокрема робочого столу. Відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» 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.

Згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» комп'ютеризовані робочі місця розміщуються 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.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» в приміщеннях конструкторського бюро та дослідницьких лабораторіях використовується природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, використовуються сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні здійснено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становить 300-500 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ.

Показники мікроклімату в приміщеннях з ПК 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».

Роботи в приміщеннях з ПК, належать до категорії Іб - легка робота, тому встановлені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23оС; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 22-24оС; 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).

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у приміщення нормуються згідно ДСанПіН 3.3.2.00798 «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 та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників;
- переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;
- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках. Рівні вібрації під час виконання робіт з ЕОМ у виробничих приміщеннях не перевищують допустимих значень, визначених в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» і ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги».

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Горінням називається складний фізико–хімічний процес взаємодії горючої речовини та окиснювача, який супроводжується виділенням тепла та випромінюванням світла.

Горюча речовина і окиснювач, за певних умов, утворюють горюче (вибухонебезпечне) середовище. Залежно від агрегатного стану та ступеня подрібненості речовин, горюче середовище може утворюватися твердими речовинами, легкозаймистими, та горючими рідинами горючим пилом та горючими газами за наявності окиснювача. Процес горіння призводить до пожежі.

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі. Для ліквідації пожежі у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломи, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння. Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір), та класу Е - пожежі, пов'язані горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною безпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.136:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» та СНиП 2.09.02-85*

«Производственные здания» приміщення (лабораторія) відповідає категорії Д – наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані.

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості дослідницької лабораторії - II.

В приміщення (лабораторія) пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розташовано на двох спеціальних пожежних щитах (стендах), відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні". Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії. В приміщення (лабораторія) встановлено 2 вуглекислотних вогнегасника місткістю 5 л. Доцільність використання даного вогнегасника пояснюються його властивостями. Вогнегасник ВВК-3 призначений для гасіння загорання різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорання електроустановок, що знаходяться під напругою, загорання в офісних приміщеннях при наявності оргтехніки. Головною особливістю вуглекислотних вогнегасників є відсутність слідів гасіння так як вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду.

Також, для адміністративних приміщень рекомендується використання сповіщувачів пожежі, тому в офісне приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-1, який буде реагувати на дим. Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я. Для адміністративних приміщень використовується димові пожежні сповіщувачі.

Закон України «Про пожежну безпеку» визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Для забезпечення пожежної безпеки в установах проводять пожежну профілактику, яка включає в себе комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження її поширення, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Для ліквідації пожежі у початковій стадії її розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, пожежні відра, совкові лопати, ломы, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин і матеріалів пожежі за ДБН В.1.1.7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» поділяються на відповідні класи.

В дослідницькій лабораторії знаходиться дерев'яна мебель, електронна апаратура, бумажні носії інформації.

Клас пожежі у дослідницькій лабораторії (згідно із ДБН В.1.1.7-2016 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, пластмаси, папір) визначається як клас А. Категорія приміщення (згідно із НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій

приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою») – визначається як категорії Д.

Визначення типу та розрахунок кількості первинних засобів пожежегасіння (згідно із ДБН В.1.1.7-2016 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – для адміністративного приміщення площею 20,91 м² слід застосовувати два порошкових вогнегасниками типу ВП–5 (НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». ДБН В.1.1.7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»). Крім цього адміністративні приміщення повинні бути обладнані автоматичними пожежними сповіщувачами, що реагують на підвищення температури, дим, полум'я. Наприклад, сповіщувачі моделей ДТЛ, ІТМ.

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Основні заходи, що здійснюються органами управління та силами цивільного захисту при виникненні радіаційної аварії на АЕС [16]:

- виявлення та оцінка радіаційної обстановки, прогноз доз опромінення населення;
- оповіщення населення про радіаційну аварію;
- інформування населення про радіаційну обстановку та рекомендації щодо захисту населення;
- надання медичної допомоги постраждалим;
- використання засобів індивідуального захисту;
- укриття в будинках, захисних спорудах цивільного захисту;
- евакуація із зони радіоактивного забруднення;
- проведення йодної профілактики;
- обмеження перебування населення на відкритому повітрі;
- здійснення дозиметричного контролю опромінення населення;
- проведення санітарної обробки населення, рятувальників;

- дезактивація території, доріг, будинків, техніки, одягу та майна;
- спостереження за радіаційною обстановкою у населених пунктах та проведення радіаційного контролю об'єктів довкілля, джерел водопостачання, продуктів харчування, сільськогосподарських тварин та рослин;
- збирання, вивезення та захоронення радіоактивних відходів.

У разі радіаційної аварії АЕС забезпечує реалізацію заходів щодо захисту населення, що включає:

1) посилений моніторинг радіаційних показників об'єктів зовнішнього середовища і опромінення населення в зоні спостереження, прогноз доз опромінення населення в зоні спостереження, підтримку рішень щодо втручання;

2) інформування центральних і місцевих органів виконавчої влади і органів місцевого самоврядування про результати моніторингу радіаційних показників об'єктів зовнішнього середовища і опромінення населення в зоні спостереження, прогнозів радіаційних показників та доз опромінення населення;

3) надання рекомендацій центральним і місцевим органам виконавчої влади і органам місцевого самоврядування щодо застосування термінових і невідкладних контрзаходів із захисту населення.

Для інформування місцевих та центральних органів влади про очікувані дозові навантаження населення, надання прогнозів і рекомендацій із захисту населення ДП НАЕК «Енергоатом» використовує на всіх атомних електростанціях (РАЕС, ХАЕС, ЮУАЕС, ЗАЕС) об'єктно-орієнтовані системи підготовки прийняття рішень (СППР) в аварійних ситуаціях, розроблені для 30-км зони АЕС. Початкові дані для СППР збираються за допомогою метеорологічних станцій і постів контролю автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки (АСКРО). СППР використовують розрахункові методики, здатні обробляти метеорологічні та радіологічні початкові дані в режимі on-line

Оповіщення про радіаційну аварію на АЕС здійснює: органи управління територіальної підсистеми, центральні органи виконавчої влади, підприємства, установи та організації згідно зі схемою оповіщення після класифікації аварії.

Також АЕС додатково повідомляє: обласній державній адміністрації, територіальним органам ДСНС, виконавчому комітету міста-супутника АЕС через відповідні оперативно-чергові служби оцінку і прогноз радіаційної обстановки в зоні спостереження, оцінку і прогноз доз опромінення населення, захисні контрзаходи, що рекомендуються. За розпорядженням керівника територіальної підсистеми оперативно-чергові служби органів управління.

Територіальної підсистеми здійснюють оповіщення: членів постійної обласної комісії з питань ТЕБ та НС; чергових аварійно-рятувальних служб області; керівництва інших сил цивільного захисту обласного підпорядкування; При надходженні повідомлення з обласного рівня оперативно-чергові служби місцевих органів виконавчої влади здійснюють оповіщення керівників органів управління та чергових служб по всій вертикалі управління територіальною підсистемою.

Для повідомлень населенню застосовуються заздалегідь підготовлені та записані на носії інформації тексти звернень, або, у разі необхідності, такі тексти готує керівник структурного підрозділу ОДА з питань НС. Крім іншої інформації, текст звернення містить розпорядження начальника територіальної підсистеми щодо застосування захисних заходів, які визначені з урахуванням рекомендацій АЕС

Укриття населення 30 (50)-кілометрової зони навколо АЕС здійснюється у захисних спорудах, включаючи: сховища; протирадіаційні укриття; пристосовані під протирадіаційні укриття цокольні поверхи кам'яних будинків, підвали, льохи, споруди підземного простору міст; багатоповерхові будинки та споруди; окремо розташовані будинки та споруди, захищені складками місцевості від дії іонізуючого випромінювання.

Рішення про укриття населення на певних територіях області приймає керівник територіальної підсистеми. Рішення приймається з урахуванням

прогнозу радіаційної та метеорологічної обстановки і на основі критеріїв, що встановлені Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Коефіцієнти ослаблення іонізуючого випромінювання: житловий дерев'яний одноповерховий будинок – 2-житловий кам'яний одноповерховий будинок – 10 підвал – 40-житловий кам'яний триповерховий будинок – 20 підвал у багатоповерховому будинку – 400 протирадіаційне укриття – 150-500 сховище >1000

Порядок здійснення невідкладних заходів йодної профілактики серед населення України у разі виникнення радіаційної аварії затверджений наказом Держатомрегулювання від 08.11.2011 №154, зареєстрованим в Мінюсті 25.11.2011 за № 1353/20091. Згідно із зазначеним Порядком препарати йодиду калію зберігаються в аптеках, дитячих дошкільних закладах, закладах освіти, охорони здоров'я (лікарні, поліклініки, пологові будинки, медичні амбулаторії, фельдшерсько-акушерські пункти тощо), військових частинах, установах виконання покарань та в інших місцях.

Кількість та розміщення пунктів видачі препаратів йодиду калію визначаються місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування за пропозиціями територіальних управлінь (відділів) охорони здоров'я, освіти та житлово-комунального господарства. За рішенням місцевих органів виконавчої влади серед населення, яке проживає в радіусі до 10 км навколо АЕС, здійснюється попередній розподіл препаратів йодиду калію в обсязі добової потреби, одночасно передаються інструкції по їх прийому.

Населення зобов'язано забезпечити збереженість цих препаратів. Оповіщення та інформування населення про початок проведення йодної профілактики проводиться місцевими органами виконавчої влади негайно після прийняття рішення щодо здійснення зазначеного заходу. Під час оповіщення та інформування населенню роз'яснюється, як поводитись у випадку радіаційної аварії, де отримати, коли і як приймати препарати йодиду калію

Згідно із законодавством населення забезпечується респіраторами, у тому числі: працююче населення — суб'єктами господарювання за рахунок власних

коштів; непрацююче населення, яке проживає у зонах спостереження об'єктів радіаційної небезпеки категорії I-II - місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування за рахунок коштів місцевих бюджетів із залученням коштів від збору на соціально-економічну компенсацію ризику населення, яке проживає на території зони спостереження. Обсяги забезпечення населення, територіальних формувань та спеціалізованих служб цивільного захисту засобами радіаційного та хімічного захисту, а також місця їх зберігання визначаються Радою міністрів Автономної Республіки Крим, обласними, Київською та Севастопольською міськими держадміністраціями.

З метою своєчасного забезпечення населення і працівників формувань та спеціалізованих служб цивільного захисту засобами радіаційного та хімічного захисту Рада міністрів Автономної Республіки Крим, обласні, Київська та Севастопольська міські держадміністрації, а також суб'єкти господарювання розробляють плани їх видачі.

Проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 30 жовтня 2013 р. № 841.

Евакуація населення із зон радіоактивного забруднення навколо атомних електростанцій проводиться для АЕС потужністю: що не перевищує 4 ГВт, - у радіусі 30 кілометрів; більш як 4 ГВт - у радіусі 50 кілометрів.

При цьому територія, з якої проводиться евакуація, повинна бути не менше зони спостереження атомної електростанції, розміри якої визначені згідно із законодавством. У разі виникнення аварії на радіаційно небезпечному об'єкті евакуація населення проводиться у два етапи: перший - від місця знаходження населення до межі зони забруднення; другий - від межі зони забруднення до пункту розміщення евакуйованого населення в безпечних районах. На межі зони забруднення у проміжному пункті евакуації здійснюється пересадка евакуйованого населення з транспортного засобу, що рухався забрудненою місцевістю, на незабруднений транспортний засіб.

Під час пересадки населення за необхідності здійснюється його санітарна обробка та спеціальна обробка одягу, майна і транспорту. Після проведення спеціальної обробки транспортний засіб використовується для перевезення населення забрудненою місцевістю.

Місцеві держадміністрації, органи місцевого самоврядування та суб'єкти господарювання, що приймають евакуйоване населення, забезпечують проведення радіаційної і хімічної розвідок на маршрутах евакуації і в районах розміщення населення, організацію дозиметричного контролю, санітарної обробки населення, спеціальної обробки одягу, майна і транспорту.

Згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 лютого 2002 р. No 58-р “Про заходи щодо забезпечення надання населенню санітарно-гігієнічних послуг” Раді міністрів Автономної Республіки Крим, обласним, Київській та Севастопольській міським держадміністраціям: забезпечити складання переліків суб'єктів господарювання, які надають населенню санітарно-гігієнічні послуги, виділивши окремо суб'єкти господарювання, які можуть залучатися за їх згодою на підставі відповідних цивільно-правових угод до проведення санітарної обробки людей та одягу в разі настання надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, надзвичайних екологічних ситуацій і ліквідації їх наслідків.

При недостатній кількості зазначених підприємств до проведення санітарної обробки та дезактивації техніки можуть залучатися техніка комунального призначення, підрозділи спеціальної обробки Міністерства оборони, ДСНС.

ВИСНОВКИ

Підшипник кочення був та є одним із найважливіших комплектуючих вузлів в конструкції агрегату.

Існує велика кількість різноманітних підшипників кочення, але всі вони повинні відповідати висунутим необхідним вимогам, які задаються тим чи іншим вузлом двигуна.

Для підвищення якості та надійності підшипникових вузлів важливо на всіх етапах виробництва відповідально відноситися до виконання операцій.

Початком вдосконалення підшипникового вузла є його проектування та врахування усіх параметрів, які до нього висуваються.

Наступним етапом є необхідність впровадження заходів, які будуть спрямовані на зменшення впливу технологічних операцій зі складання або розбирання підшипникового вузла.

Відповідно до поставленої мети роботи були виконані наступні завдання:

- розглянуто теоретичні основи щодо призначення підшипників кочення в вузлах авіаційних двигунів;
- досліджені ушкодження підшипників під час експлуатації, що виникли при прикладанні радіального, осьового навантаження та при перекосі кілець, що пов'язані з дією зовнішнього середовища (корозія, вплив абразивних частинок), що пов'язані з монтажем, які пов'язані з системою змащення;
- надані рекомендації щодо підвищення надійності підшипникових вузлів шляхом покращення ефективності проведення технологічних операцій; конструктивних змін в підшипникових вузлах ущільнень та умов змащення;
- визначена економічна доцільність запропонованих заходів з підвищення надійності підшипників;
- розглянуто основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гайдамака А.В. Підшипники кочення. Базові знання та напрямки вдосконалення: навч.посіб. / А.В.Гайдамака. – Х.:НТУ «ХП»,2009.–248 с.
2. Скуратовський А.К. Підшипники кочення: Ч.1. Кулькові підшипники: навч.посіб. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; А.К. Скуратовський. – Київ: КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2018. – 51 с.
3. Сидоров В.А., Сотников А.Л. Эксплуатация подшипников качения. / В.А. Сидоров, А.Л. Сотников. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2014. – 175 с.
4. Розрахункове еквівалентне навантаження на підшипники кочення. [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5403529/page:69/>
5. Термін «Надійність» [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/16335>
6. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения. – М.:Стандартинформ, 2010. – 25 с.
7. Коросташевский Р.В., Зайцев А.М. Авиационные подшипники качения / Р. Коросташевский, А. Зайцев. – М.: Оборонгиз. 1963. – 339 с.
8. Опоры роторов ГТД [електронний ресурс] – Режим доступу: http://flightcollege.com.ua/library/4-4-Opory_rotorov_GTD.pdf
9. SKF. Повреждения подшипников качения и их причины / SKF // reasons damage bearings. – Санкт-Петербург, 2002.
10. Диагностика неполадок подшипников [электронный ресурс] - Режим доступу: <http://1podshipnik.ru/upload/iblock/b24/b240f94b77fbd2146fb0f9fed2bcd452.pdf>
11. Новиков Д.К., Фалалеев С.В. Опоры и уплотнения авиационных двигателей и энергетических установок: электр.учеб.пособие / Д. Новиков, С. Фалалеев. – Самара: СГАУ, 2011. – 124 с.

12. А.В. Якимов. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. / А.В. Якимов, В.Н Царюк, А.А. Якимов и др. – Одесса.: Астропринт, 2001. – 608 с.

13. Выявление дефектов подшипников качения с помощью анализа вибрации [электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.vibration.ru/v_defekt.shtml

14. Вибродиагностика подшипников качения и входной контроль подшипников [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.dynamics.ru/products/compacs-rpp/>

15. Метод огибающей [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://vibropoint.ru/metod-ogibayuschey/>

16. Заходи щодо захисту робітників і службовців промислового об'єкта та непрацюючого населення у випадку аварії на радіаційно-небезпечному об'єкті [електронний ресурс] – Режим доступа: <https://www.dsns.gov.ua/files/2018/2/1/osoblivosti.pdf>