

ВІДГУК

**офіційного опонента Пилипця Михайла Ільковича
на дисертаційну роботу Бадіра Каріма Кашаша
«Покращення експлуатаційних характеристик підшипників кочення шляхом
використання технології фінішної магнітно-турбулентної очистки»,
виконану за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування**

1. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота виконана в науково-дослідній лабораторії нанотриботехнологій науково-дослідної частини Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України і направлена на вирішення науково-технічної задачі, яка полягає в покращенні експлуатаційних характеристик підшипників кочення шляхом використання технології фінішної магнітно-турбулентної очистки.

Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані у 30 наукових працях.

Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 125 найменувань та 6 додатків. Повний обсяг дисертації складає 135 сторінок. З них – 122 сторінки основного тексту, 71 рисунок, 5 таблиць.

2. Оцінка актуальності роботи та відповідність її планам наукових досліджень

Проблема промислової чистоти при складанні та експлуатації сучасних високонавантажених машин та механізмів є надзвичайно актуальною, котра вирішується рядом традиційних методів видалення мікрозабруднень (не зв'язані ліквіди) з поверхонь деталей.

Сьогодні для промислового видалення забруднень з робочих поверхонь деталей машин і механізмів використовуються традиційні методи очищення, найбільш поширеним з яких є ультразвукове. Однак нерозбірні системи кочення, що широко застосовуються практично у всіх роторних системах – від авіаційних газотурбінних газодвигунів до опор найпростіших електричних двигунів, мають ряд особливостей: кожний шарикопідшипник включає в себе достатньо велику кількість окремих деталей (тіла кочення, сепаратор, кільця), що конструктивно утворюють криволінійні контакти таким чином, що більшість поверхонь є затіненими та прихованими від одновекторної дії ультразвукових хвиль у миючій рідині.

Традиційні методи очищення підшипників у складеному стані тривалий час задовольняли як виробників, так і споживачів підшипників. У даній роботі здобувач експериментально довів, що мікрозабруднення феромагнітної природи у достатньо великій кількості утримуються на межах доменів поверхонь феромагнітних деталей і таким чином виявив ще один небезпечний фактор, що впливає на експлуатаційні характеристики підшипників кочення. Окрім цього, в

роботі запропонована технологія фінішної очистки підшипників кочення оригінальним методом комбінованими імпульсно-магнітними та турбулентними полями. Отже, виконані дослідження щодо покращення експлуатаційних характеристик підшипників кочення шляхом використання технології фінішної магнітно-турбулентної очистки є актуальною науково-практичною задачею.

Дисертаційна робота виконана в науково-дослідній лабораторії нанотриботехнологій науково-дослідної частини Національного авіаційного університету відповідно до договору Міністерства освіти і науки України з напрямку «Розробка найважливіших новітніх технологій науковими установами» і пов'язана з виконанням держбюджетних НДР: «Розробка безконтактного імпульсного магнітно-турбулентного методу зменшення загального рівня вібрації трибосистем» (№ державної реєстрації 0104U003739); «Розробка та створення дослідного зразка стенду та методики безконтактного магнітно-турбулентного очищення шарикопідшипників у зборі» (№ державної реєстрації 0114U001599); «Випробувально-вимірювальний комплекс вхідного контролю шарикопідшипників та методики визначення їх віброхарактеристик» (№ державної реєстрації 0116U004630).

3. Оцінка наукової новизни результатів дисертації

Для досягнення поставленої в роботі мети, що полягає в покращенні експлуатаційних характеристик підшипників кочення шляхом використання технології фінішного видалення мікрозабруднень з поверхонь трибосистем кочення комбінованими магнітно-турбулентними полями, були сформульовані відповідні предмет та об'єкт досліджень, а також наукова новизна.

Наукова новизна дисертації полягає у виявленні закономірностей та механізму утримання на робочих поверхнях феромагнітних мікро- та наночасток під дією локальних міжзеренних магнітних полів, що природно виникають на межі доменів феромагнітних підшипникових сталевих поверхонь трибовузлів, що є домінуючим відносно дії молекулярних, кулонівських та гравітаційних сил.

Для цього вперше:

1. Сформульовано та експериментально обґрунтовано актуальність проблеми наявності мікрозабруднень різної природи на робочих поверхнях трибосистем кочення, що утворюються під час їх виробництва, складання, зберігання, розконсервації, встановлення у виробі та в процесі їх експлуатації. Запропоновано питання чистоти поверхонь трибосистем кочення виділити у самостійну науково-технічну проблему, що потребує особливих підходів через конструкційні особливості об'єктів очищення (велика кількість контактних каналів складного перерізу, вузьких щілин та затінених зон).

2. Теоретично доведено та експериментально підтверджено, що на рівень адгезії частинок забруднень з матеріалом об'єктів очищення впливають не тільки молекулярні, кулонівські, гравітаційні сили, сили поверхневого натягу, та ін., а й локальні міжзеренні магнітні поля, що завжди виникають на межі доменів феромагнітних поверхонь сталевих підшипникових деталей.

3. На основі отриманих результатів мікрорентгеноспектрального, фазового і гранулометричного аналізів видалених часток забруднень виконана оцінка їх

фізико-хімічного складу і розкрито механізм їх утримання магнітними полями на поверхнях деталей трибосистем кочення.

4. Теоретично обґрунтовано та експериментально доведено, що шляхом дії на об'єкт очищення змінними імпульсними полями магнітної природи стає можливим подолання локальних коерцитивних сил, котрими утримуються феромагнітні частинки на межі доменів, та можливість видалення їх з поверхонь, що очищуються.

5. Запропоновано математичний алгоритм механічного руху частинок забруднень в затіненій області на основі моделі взаємодії часток з робочою поверхнею, що отримало підтвердження на розроблених приладах та стендах з джерелами змінних імпульсних магнітних полів.

4. Оцінка достовірності та обґрунтованості положень дисертації

Наукові положення, лабораторні пристрої, методики експериментальних досліджень та аналіз їх результатів, наукові положення з висновками та пропозиціями у достатній мірі обґрунтовані теоретичним аналізом, експериментальними дослідженнями, заводськими випробуваннями та впровадженням у виробництво (ДП ЗМКБ «Івченко Прогрес»), тому їх достовірність не викликає сумнівів.

Результати досліджень, що наведені в роботі, є достатньо обґрунтованими в рамках феноменологічної моделі з використанням теорії магнітної індукції феромагнітних матеріалів, що мають доменну структуру.

Здобувачем виконана широка апробація розробленої методики очищення шарикопадшипників на розробленому та створеному стенді.

Результати експериментальних досліджень одержані з використанням власноруч спеціально розробленого устаткування та оснащення, а також і відомих сучасних засобів.

Висновки і рекомендації, які наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, їх достовірність підтверджена експериментально як в лабораторних, так і в заводських умовах.

Повнота викладу результатів досліджень підтверджена 10-ма фаховими публікаціями, 1-му міжнародному науковому виданні та 6-ма патентами України на корисні моделі та винахід.

5. Цінність отриманих результатів для науки і техніки

Дисертаційна робота Бадіра Каріма Кашаша є самостійним завершеним науковим дослідженням, яке спрямоване на покращення експлуатаційних характеристик підшипників кочення шляхом використання технології фінішного видалення мікрозабруднень з поверхонь трибосистем кочення комбінованими магнітно-турбулентними полями.

Реалізація отриманих результатів дозволяє вдосконалювати відомі та розробляти нові технологічні процеси видалення незв'язаних ліквідів з усіх поверхонь нерозбірних шарикопадшипників. Очевидно, що такі процеси слід поширити і на деталі паливної, гідравлічної та інших систем (прецизійні, плунжерні, золотникові та інші трибосистеми).

На основі наукових положень та проведених досліджень результати роботи впроваджено в ДП ЗМКБ «Івченко Прогрес», м. Запоріжжя та в науково-дослідній лабораторії нанотриботехнологій НДЧ НАУ.

6. Ступінь висвітлення основних результатів дисертації у наукових виданнях, ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації

Основний зміст і результати дисертаційного дослідження опубліковані в 30 друкованих працях, 10 з них надруковано у фахових виданнях, що входять до переліку ДАК Міністерства освіти і науки України, 1 у міжнародному науковому виданні, що входить до науково-метричної бази Scopus; 14 – у тезах науково-технічних конференцій та семінарів, 6 патентів України на корисні моделі та винаходи.

Теоретичні дослідження, висновки та рекомендації сформульовані дисертантом є науково обґрунтовані, аргументовані і достовірні.

Автореферат за своїм змістом відповідає основним положенням, висновкам, пропозиціям, що наведені в дисертаційній роботі, відображає її структуру. Автореферат за змістом, основними положеннями та висновками ідентичний з дисертацією.

7. Загальна характеристика роботи

У вступі наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет досліджень та завдання, які розв'язуються в роботі. Достатньо повно та ґрунтовно викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Сформульовано основні положення, що розглядаються в дисертаційній роботі, та вказано найважливіші результати, що виносяться на захист.

У першому розділі показано, що одним з небезпечних факторів, котрий суттєво впливає на технічний стан машин і механізмів та безпеку на транспорті та у виробництві є забруднення поверхонь нерозбірних шарикопідшипників. Показано, що основними джерелами збурень, що визначають вібрацію трибосистеми кочення, є технологічні похибки її виготовлення й складання, а також сторонні предмети, що знаходяться на робочих поверхнях (мікрочастки феромагнітної та іншої природи). Ударні сили, що при цьому виникають, залежать від зазорів, нерівноваженості рухомих елементів, наявності забруднень на робочих поверхнях і в змащувальних середовищах та робочих рідинах, а також від зовнішніх чинників.

Спираючись на проведений літературний аналіз зроблено висновок, що проблема видалення забруднень з трибосистем кочення на сьогодні є актуальною, поза як питанню забезпечення промислової чистоти машин і механізмів не приділялося належної уваги. Це призводило до недостатньо повного розуміння механізму очищення трибосистем і не дозволяло досягнути необхідної якості під час застосування відомих методів.

На основі проведеного аналізу літературних джерел визначені мета та задачі дослідження.

У другому розділі проведено ретельний аналіз способів визначення стану опор кочення шляхом контролю за їх частотними спектрами. Встановлено, що для діагностування підшипників використовують параметри, які характеризують стан як окремого підшипника, так і всіх підшипникових опор у виробі.

Наведено результати експериментальних досліджень впливу овальності доріжок кочення, осьового та радіального навантажень на рівень вібрації та шуму. При цьому доведено, що зменшення вібрації, як основного показника якості та стану підшипників, може бути досягнуте не тільки шляхом підвищення якості виготовлення, збільшення числа тіл кочення, але й максимально повним видаленням забруднень з робочих поверхонь та паливно-мастильних матеріалів.

Отримані результати створили передумови для розроблення лабораторного стенду оцінки віброакустичних характеристик, який дає змогу оперативно та ефективно визначати стан об'єктів дослідження.

У третьому розділі на основі феноменологічної моделі утримання феромагнітних мікрозабруднень на границях доменів поверхонь феромагнітних деталей підшипників запропонована достатньо коректна фізико-математична модель. Показано, що окрім відомих сил, діючих на феромагнітну частку малої маси, на поверхнях масивних деталей підшипників, таких як адгезійна, кулонівська, сили тяжіння та Архімедова сила, значний вплив на утримання забруднень належить коерцитивним силам, що виникають на межі доменів деталей з одиничним мікрозабрудненням.

Окремо розглянуто гідродинамічні сили, що виникають у турбулентних течіях, котрі при одночасній імпульсно-магнітній дії на мікрозабруднення дозволяють ефективно зміщувати та відривати їх від поверхні з наступним видаленням у зону накопичення. Саме такий комбінований підхід було вибрано для реалізації в розроблюваних макетах і стендах. Були встановлені оптимальні напруженість магнітного поля, частота імпульсів та тривалість процедури очищення у вибраному середовищі (авіагас ТС-1).

Для створення джерела змінного імпульсного магнітного поля (ДЗІМП), з огляду на попередні дослідження, використовувались рідкоземельні елементи з постійною індукцією 450...700 мТл на поверхні. З урахуванням відстані до об'єкту очищення і екранування елементами конструкції розробленого стенду автору вдалось у робочій зоні реалізувати імпульсну індукцію 100 мТл, що дозволило проводити очищення підшипників з висотою кілець до 15 мм при односторонньому позиціонуванні і до 35 мм – при двосторонньому. Реалізована реверсивність очищення підшипників підвищує якість технології видалення мікрозабруднень та зменшує тривалість процедури.

У четвертому розділі виконані фактографічні та мікрорентгеноспектральні дослідження забруднень, видалених з поверхонь підшипників, попередньо очищених штатними заводськими технологіями. Вражає їх кількість, розміри (до 50 мкм) та хімічний склад. Окрім мікростружки, характерної для шліфування деталей підшипників, виявлені метал-абразивні частки, що також є продуктом технології обробки деталей. Виявлені мікрозабруднення кольорових металів (мідь, алюміній, олово та ін.) свідчать, що в імпульсних магнітних полях ці частки стають магнітно-чутливими за рахунок струмів Фуко.

Наведені результати віброакустичної оцінки трибосистем кочення, які пройшли усі стадії промислового очищення (у тому числі і ультразвукове), до та після очищення розробленим імпульсним магнітно-турбулентним методом переконливо свідчать про суттєве підвищення (особливо у спектрі високих частот) якості трибовузлів за критеріями загального рівня вібрацій. Після очищення підшипників на створеному стенді за розробленою технологією загальний рівень їх вібрацій зменшувався на 5...11%.

У п'ятому розділі наведені дані про розроблені лабораторний стенд та методики оцінки віброакустичних характеристик підшипників кочення, котрі реалізовані із використанням оригінальних конструктивних рішень.

Показано, що в результаті очищення досягнуто зменшення моменту тертя в середньому на 0,05 Н·м та загального рівня вібрації більш ніж на 3 дБ. На основі таких лабораторних експериментів було розроблено інженерну методику та установку імпульсного магнітно-турбулентного очищення деталей трибосистем кочення в зборі.

У 80% випадках реалізації заявленої методики і тривалості очищення відбувалось практично повне видалення забруднень металевої природи, у 20% – виконувалось повторне очищення.

Характеристика загальних висновків

Наведені в дисертаційній роботі висновки та рекомендації є достатніми і належним чином обґрунтованими. Для їх отримання автором виконані необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, результати яких розроблені згідно поставлених завдань, розроблених методик та пристроїв, що опубліковані у відкритому друці.

Дані, наведені в пунктах 1, 2, 4, 5, 6, підтверджені результатами теоретичних та експериментальних досліджень.

Висновки 2, 7 отримані на основі експериментальних досліджень і підтверджені відповідними патентами.

Пункти 3, 8 підтверджені результатами випробувань та впровадженням розробленої інженерної методики і технології очищення шарикопідшипників у виробництво авіаційних газотурбінних двигунів на ДП ЗМКБ «Івченко Прогрес».

8. Зауваження щодо змісту дисертації

1. Математична модель, наведена в дисертаційній роботі та фрагментарно в авторефераті, на мою думку, не є повною і в більшій мірі є феноменологічною моделлю.

2. У роботі недостатньо описаний механізм утворення турбулентного потоку м'якої рідини. Варто було б приділити більше уваги висвітленню параметрів утворення такого потоку та його залежності від типорозмірів підшипників.

3. У роботі не в повній мірі обґрунтовано механізм видалення мікрозабруднень не феромагнітної природи (бронза, латунь та ін.).

4. З роботи не зрозуміло як визначається оптимальна частота імпульсного змінного магнітного поля для конкретного типорозміру та типу (кульковий, роликівий) підшипника.

5. Слід було б більше уваги приділити питанню позиціонування підшипників різних типорозмірів та розглянути можливість створення технології очищення конвеєрного типу з великим обсягом виробництва.

9. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Вказані недоліки не знижують наукового та практичного рівня дисертаційної роботи і не впливають на позитивну оцінку в цілому.

Зміст і структура дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування».

Проведені дослідження, які відображені у дисертаційній роботі, авторефераті та публікаціях засвідчують, що робота Бадіра Каріма Кашаша «Покращення експлуатаційних характеристик підшипників кочення шляхом використання технології фінішної магнітно-турбулентної очистки» є закінченою науково-дослідною працею, яка за змістом, об'ємом, науковою новизною і практичним значенням відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування» і містить нові рішення актуальної науково-технічної задачі – видалення з поверхонь нерозбірних підшипників кочення мікрозабруднень феромагнітної та іншої природи та створення технології і стенду для використання у виробництві машин і механізмів, у тому числі в підшипниковій промисловості.

Актуальність, практичне значення, новизна і закінченість досліджень, обґрунтування і достовірність висновків заслуговують позитивної оцінки.

На основі вищевказаного вважаю, що кандидатська дисертація Бадіра К.К. є завершеною науково-дослідною роботою, яка за науковим рівнем і практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам, які ставляться до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування»

Офіційний опонент

завідувач кафедри технології машинобудування

Тернопільського національного

технічного університету

ім. Івана Пулюя

доктор технічних наук, професор

Пилипець М.І.

Підпис проф. Пилипця М.І. завіряю

проректор з наукової роботи,

доктор технічних наук, професор



Рогатинський Р.М.

