

Вченому секретарю спеціалізованої
Вченої ради Д 26.062.06
Михайлу СВИРИДУ
Державний університет
«Київський авіаційний інститут»
Просп. Любомира Гузара, 1
м. Київ, 03058

ВІДГУК

офіційного опонента, доцента Шимчука Сергія Петровича
на дисертаційну роботу **Хімко Маргарити Сергіївни**
«Підвищення зносостійкості шарнірних підшипників застосуванням
металополімерних та полімерних композиційних матеріалів»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах
з галузі знань 13 – механічна інженерія

Актуальність обраної теми та її зв'язок з науковими програмами.
Дисертаційна робота Хімко М.С. спрямована на підвищення зносостійкості та довговічності окремих вузлів літальних апаратів і гелікоптерів та переведення цих вузлів на обслуговування за фактичним станом за рахунок застосування високоефективних антифрикційних композиційних матеріалів. Застосування полімерних композиційних матеріалів у підшипниках ковзання виключає повністю обслуговування даного вузла в міжремонтний період, що особливо важливо для авіації, де намагаються перевести вузли повітряних суден на технічне обслуговування за фактичним станом.

Шарнірні підшипники із полімерними композиційними матеріалами в авіаційній промисловості використовуються масово. В повітряних суднах таких як: Ан-124, Ан-225, В-777, В-787, А330, А340 та ін. застосовуються більше тисячі таких підшипників. На металополімерних композиційних матеріалах працюють опори ракетних та газотурбінних двигунів в літаках цивільної авіації. Їх використовують в опорах шасі та системах керування повітряних суден.

Автор був відповідальним виконавцем та співвиконавцем наступних держбюджетних та хоздоговорних тем: № 2023/39/UA, № 2024/139/UA; № 549-X08 (АН01-60(08); № 88/07.02.02; № 110/07.02.02; № 1049-X16; № 1050-X16; № 1.0668.2021.

Враховуючи зазначене тема дисертаційної роботи, дослідження якої були спрямовані на вирішення науково-технічної проблеми підвищення

зносостійкості авіаційних шарнірних підшипників, шляхом використання композиційних матеріалів, є актуальною.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації 244 сторінок, із них 159 сторінки основного тексту. Робота включає 9 таблиць, 87 рисунків (із них тих, що займають повну сторінку – 1), 8 додатків. Список використаних джерел налічує 174 найменувань.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, поставлені мета та завдання досліджень, визначені наукова новизна і практична значимість отриманих результатів, наведені дані щодо апробації і впровадження. Тобто визначена основна інформація, яка характеризує роботу та передбачена нормативними положеннями ДАК МОН України.

У першому розділі показано, що існує тенденція впровадження в важконавантажених вузлах машин, шарнірних підшипників із полімерних антифрикційних композиційних матеріалів, які не потребують технічного обслуговування впродовж всієї роботи. Виконано аналіз найбільш сучасних та зносостійких видів композиційних матеріалів. Представлено технологічні аспекти нанесення та виготовлення композиційних матеріалів у підшипниках ковзання. Визначено, що впровадження в шарнірні підшипники високоінженерних полімерних композиційних матеріалів дозволить підвищити довговічність та зносостійкість пар тертя за рахунок використання повної товщини полімерного матеріалу та розробити підшипники із прогнозованими характеристиками під конкретну задачу.

У другому розділі розроблено методику дослідження композиційних матеріалів при низькочастотних реверсивних рухах, яка дозволяє проводити випробування матеріалів, як на лабораторних зразках, так і на реальних шарнірних підшипниках ковзання діаметром до 12 мм. Розроблено унікальну методику та лабораторну установку для ресурсних випробувань шарнірних підшипників для авіаційної промисловості. Автором обґрунтовано застосування статистичного аналізу для триботехнічних параметрів, що спрямовані на виявлення суттєвих змінних і отримання представлень про індивідуальні та спільні зв'язки з реальними триботехнічними характеристиками композиційних матеріалів та трибопар в цілому.

У третьому розділі автором визначено високоефективні антифрикційні матеріали із різною структурою, які підвищують зносостійкість та довговічності шарнірних підшипників для авіаційній галузі. Визначено, що полімерний композиційний матеріал Fluroglide, який складається із армуючої тканини із

додаванням матеріалу PTFE та функціональними добавками показує високі триботехнічні характеристики.

Запропоновано використання сплаву ВТ-22 в якості внутрішньої обойми із нанесенням на його поверхню покриття молібдену вакуумно-дуговим методом товщиною в 70 мкм. Представлено економічний розрахунок доцільності використання титанових матеріалів замість сталей в конструкціях авіаційних шарнірних підшипників із антифрикційними композиційними матеріалами. Проведено дослідження трибохарактеристик матеріалів внутрішньої обойми шарнірних підшипників для авіаційної промисловості. Встановлена висока зносостійкість покриття молібдену в умовах фретинг-корозії. Так при 20 та 30 МПа дане покриття на сплаві ВТ-22 характеризується зменшенням лінійного зносу в 2,6 та 1,2 рази, в порівнянні з покриттям на сталі 95Х18Ш.

У четвертому розділі визначено механізм збільшення лінійного зносу полімерних композиційних матеріалів в 1,5...1,9 разів, в порівнянні з металополімерною стрічкою, при підвищенні температури до 60 °С, який полягає в збільшенні деструкційних процесів внаслідок термо-механічного впливу в умовах реверсивного ковзання, низькій теплопровідності сполучника та армованих волокон.

Проведено моделювання напружено-деформованого стану шарнірних підшипників із полімерними та металополімерними композиційними матеріалами в системі SOLIDWORKS. Розроблено модель шарнірних підшипників із композиційними матеріалами та варіантами комбінацій із матеріалами обойм підшипників. Визначено, що матеріали ZX324VMT та TX1 при моделюванні напружено-деформованого стану знижують максимальне питоме напруження на 50 % в матеріалі при навантаженнях в 3, 100 та 200 кН, в порівнянні з металополімерною стрічкою. Доведено зменшення питомих напружень у поверхневих шарах матеріалів підшипників при використанні титанових сплавів ВТ22 замість підшипникової сталі 95Х18Ш до 20 %.

За результатами оцінки встановлено, що використання вуглецевих волокон в чистому вигляді підвищує нормальні еквівалентні напруження по Мізеру в 1,27 раз та в 1,2 рази при моделюванні розташування волокон даного типу на обоймі зі сталі 95Х18Ш та сплаві ВТ-22 відповідно, в порівнянні з металополімерною стрічкою.

У п'ятому розділі за результатами лабораторних ресурсних випробувань встановлена висока працездатність полімерних композиційних матеріалів ZX-324VMT, TX 1, Fluroglide. Максимальний осьовий зазор в шарнірних підшипниках з даними матеріалами становив 0,25, 0,17 та 0,13 мм відповідно при напруженні 100 тис. циклів при низькочастотному амплітудному коливанні. За результатами стендових випробувань шарнірних підшипників з імітацією

режимів роботи важеля автомату перекосу гелікоптера типу Mi-8MTV-1 після 2 млн. циклів встановлено зменшення осьового зазору при використанні полімерних композиційних матеріалів Fluroglide на 33 %, ZX-324VMТ на 10-15% та ТХ 1 на 19-23 %.

Висновки дисертаційної роботи ґрунтуються на аналізі отриманих теоретичних та експериментальних результатів досліджень, які наведені в кінці кожного розділу та в узагальненому вигляді в заключній частині дисертації.

Список літературних джерел включає 174 найменувань, що свідчать про глибоке і ґрунтовне опанування дисертантом обробленої інформації за обраною тематикою та її аналіз.

У додатках представлено: акти впровадження наукових досліджень та акт промислових випробувань шарнірних підшипників; трибомеханічні характеристики полімерних композиційних матеріалів для шарнірних підшипників ковзання; характеристики та документація, щодо шарнірних підшипників із металополімерної стрічки; розрахунок економічної доцільності заміни сталевих обойм шарнірних підшипників на титанові сплави; документація по наробітках вертольоту типу Mi-8MTV-1 державний номер UR-HZF в республіці Буркіна-Фасо регіон Сахель при перевезення пасажирів та вантажів авіакомпанії ТОВ «НЗОПЕРЕЙШИНЗ»; технічна документація, щодо розташування та технічного обслуговування підшипників у важелі автомату перекосу гелікоптера Mi-8MTV-1.

Наукова новизна одержаних результатів. У відповідності з метою досліджень здобувачем розроблені наступні наукові положення:

1. Вперше встановлено підвищення зносостійкості та антифрикційних властивостей полімерних композиційних матеріалів при контактних навантаженнях до 30 МПа за рахунок розподілу полімерного матеріалу РТФЕ між армованими волокнами внаслідок механодеструкції полімерної матриці, що сприяє рівномірному розподілу контактного навантаження в зоні тертя, яке сприймається переважно армуючою складовою полімерного композиційного матеріалу.

2. Набула подальшого розвитку реологія зносостійкості контактної взаємодії полімерних композиційних матеріалів: розсіювання механічної енергії при низькочастотних реверсивних рухах та механо-термічних деформаціях забезпечується релаксацією локальних напружень як в'язкопружними властивостями полімерного термопластичного сполучника, так і властивостями міцності армуючих компонентів.

3. Вперше отримано розрахункову модель оцінки напружено-деформованого стану шарнірних підшипників з підвищеним коефіцієнтом запасу міцності в діапазоні навантажень 3...200 кН при низькочастотних

амплітудних коливаннях за рахунок використання армованих вуглецевими волокнами полімерних композиційних матеріалів, що сприяє зниженню максимальних нормальних напружень в 1,5-2 рази, в порівнянні з стандартними шарнірними підшипниками з металополімерною стрічкою.

4. Вперше запропоновано використання сплаву ВТ-22 в якості внутрішньої обойми із нанесенням на його поверхню покриття молібдену або твердого хрому вакуумно-дуговим методом для підвищення довговічності конструкцій шарнірних підшипників за рахунок вищої зносостійкості, більшої демпфуючої здатності в умовах вібрацій, релаксації локальних пікових динамічних напружень титанового сплаву ВТ-22, в порівнянні з сталлю 95Х18Ш.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено методику оціни триботехнічних показників композиційних матеріалів при низькочастотних реверсивних рухах.

2. Модернізовано спеціальний комплекс установок для досліджень металополімерних та полімерних композиційних матеріалів, які можливо використовувати у шарнірних підшипниках ковзання для авіаційної промисловості.

3. Удосконалено технологію виробництва авіаційних шарнірних підшипників без обслуговування в міжремонтний період на основі формування рельєфної поверхні для кріплення полімерного композиційного матеріалу до зовнішньої обойми, вибору полімерних композиційних матеріалів з високоміцними армуючими волокнами в модифікованому наповнювачами (С, MoS_2 та ін.) сполучнику та виготовлення внутрішньої обойми підшипника з титанового сплаву (з поверхневим покриттям з молібдену) для забезпечення ефективної демпфуючої здатності в умовах вібрацій.

4. Розроблено структурну схему досліджень полімерних композиційних антифрикційних матеріалів та впровадження шарнірних підшипників на базі цих матеріалів, для отримання додаткового сертифікату типу STC (supplemental type certificate) у важелі автомату перекошу гелікоптерів серії Mi-8T, Mi-8P, Mi-8PS, Mi-8MTV-1(Mi-17-V), Mi-8MTV(Mi-17), Mi-8AMT, Mi-171, Mi-17V-5, які працюють на африканському континенті у підтримку міжнародних місій Всесвітньої продовольчої програми (WFP) та Організації Об'єднаних Націй (UN).

5. Розроблено та впроваджено в практику експериментальних досліджень спосіб припрацювання пар тертя в нестаціонарних умовах роботи (Пат. 92071)

Достовірність результатів та висновків. Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у роботі, обґрунтовані повно та достатньо переконливо. Достовірність і обґрунтованість одержаних у дисертації наукових положень підтверджується коректною постановкою наукової проблеми,

використанням апробованого математичного апарату, збігом результатів теоретичних досліджень з результатами проведених експериментально-розрахункових досліджень, упровадженню перспективних композиційних матеріалів, методик у виробництво та отримання результатів експлуатаційних випробувань.

В роботі застосовується комплексний науково-прикладний підхід, який поєднав глибокі теоретичні дослідження та рішення прикладних задач на основі експериментально-розрахункових досліджень та лабораторних випробувань процесів, що відбуваються в зоні фрикційного контакту реальних вузлів тертя в умовах коливальних рухів.

Для вирішення такої багатofакторної задачі були застосовані сучасні експериментальні методи. Експериментальні дослідження проводилися з використанням як стандартних, так і специфічних методик для оцінювання та вимірювання таких параметрів, як осьовий зазор шарнірних підшипників, лінійний знос композиційних матеріалів, теплофізичні властивості композиційних матеріалів. Використання сучасних методів дослідження та обладнання забезпечило задовільну точність отриманих результатів і їх узгодженість з теоретичними прогнозами. Достовірність отриманих в роботі наукових положень, висновків і рекомендацій, підтверджуються великою кількістю проведених експериментальних досліджень, їх відтворюваністю, співставленістю з результатами інших авторів, використанням обладнання з достатньою точністю вимірювань і результатами математичної обробки з використанням сучасних математичних програм.

Повнота викладених результатів дисертації у наукових фахових виданнях. За темою дисертації автором опубліковано 17 наукових праць, у тому числі: 9 статей у фахових виданнях переліку МОН України; 1 стаття у іноземному спеціалізованому виданні; 6 матеріалів і тез доповідей на науково-технічних конференціях та 1 патент.

Всі вимоги положень ДАК МОН України щодо наукових публікацій витримано.

Результати проведених експертиз щодо академічного плагіату, фальсифікації, та фабрикації показав, що оригінальність тексту дисертаційної роботи складає 94%, яке свідчить про те, що здобувач роботи виконав самостійно.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Оцінюючи в цілому роботу позитивно та визнаючи достатньо високий рівень теоретичних та методичних підходів, практичних рекомендацій, обґрунтованість висновків, доцільно все ж відмітити деякі дискусійні питання:

1. Незрозуміло, чому при визначенні теплофізичних властивостей композиційних матеріалів автор проводить дослідження при максимальній температурі в 60 °С, адже за наведеними в роботі характеристиками ці композиційні матеріали можуть витримувати температури до 200 °С.

2. Незрозумілим є вибір матеріалів для досліджень ВТ-22 та 95Х18Ш, оскільки авіаційні шарнірні підшипники у більшості випадків виготовляються з матеріалу 12Х18Н9Т.

3. Доречно було б зобразити на рисунку 3.19 (сторінка 127 рукопису дисертації), окрім досліджень демпфуючої здатності молібдену та матеріалу 95Х18Ш, ще і залежність демпфуючої здатності від амплітуди коливань хрому, оскільки автор аналізує характеристики саме хрому та молібдену на титановому сплаві ВТ-22.

4. При висвітленні промислових досліджень в підрозділі 5.2 автор недостатньо уваги приділив розгляду установки для досліджень шарнірних підшипників, оскільки вона відрізняється від установки для лабораторних ресурсних випробувань представленої в підрозділі 2.4 та 5.1.

Загальний висновок по роботі

Дисертаційна робота Хімко Маргарити Сергіївни на тему «Підвищення зносостійкості шарнірних підшипників застосуванням металополімерних та полімерних композиційних матеріалів», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук є завершеною працею. В дисертаційній роботі відсутні порушення академічної доброчесності. Структура та зміст дисертаційної роботи повною мірою розкриває тему наукового дослідження та відповідає спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах, галузь знань 13 – механічна інженерія та всім вимогам нормативних документів МОН України до кандидатських дисертацій (зокрема, пп. 9, 11, 13,) «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 з подальшими змінами і доповненнями до кандидатських дисертацій. Автор роботи, Хімко Маргарита Сергіївна, заслуговує на присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри галузевого машинобудування

Луцького національного

технічного університету

Сергій ШИМЧУК

ВІРНО:
Начальник відділу кадрів
14 05 2025



(В. Бачалюк)