

РЕЦЕНЗІЯ

**офіційного рецензента на дисертаційну роботу Ільїної Ольги Андріївни
«Поліпшення триботехнічних характеристик пар тертя управлінням
процесами самоорганізації дисипативних структур при несталих умовах
роботи», представлену на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань
13 – Механічна інженерія,
спеціальності 131 – Прикладна механіка**

Актуальність дослідження

Правильний вибір мастильних матеріалів, а також їх вчасна та якісна діагностика є ключовими умовами для збільшення довговічності, підвищення ефективності й підтримки технологічної точності машин і механізмів на тривалий час. Розробка ефективних заходів трибомоніторингу мастильних матеріалів суттєво сприяє їх раціональному використанню та зменшенню зношування деталей обладнання. Підбір мастильного матеріалу для конкретного вузла тертя має на меті підтримання механізмів самоорганізації дисипативних структур, що зменшує інтенсивність зносу трибосистеми. Функція мастильного матеріалу полягає у формуванні змащувального шару, який залишається стійким до механічної деструкції через підвищення градієнта швидкості зсуву при коченні з пробуксовуванням або ковзанні. Це є вирішальним для ефективної роботи пар тертя в нестабільних режимах. Знищення змащувального шару в критичних режимах функціонування трибосистеми є головним фактором, що активізує енергетичні процеси в зоні контакту і може призводити до порушення структурної адаптації контактних поверхонь та мастильного матеріалу. Це проявляється посиленням зносу, домінуванням граничного режиму мащення, а також процесами схоплювання контактних поверхонь.

Кінцевою метою даного дослідження є поліпшення триботехнічних характеристик пар тертя шляхом управління процесами самоорганізації дисипативних структур при несталих умовах тертя підбором мастильного матеріалу з ефективними змащувальними, реологічними, антифрикційними і протизношувальними характеристиками. Основна увага дослідження приділена спільному урахуванню процесів самоорганізації дисипативних структур при несталих умовах тертя та підбору найефективнішого мастильного матеріалу для конкретних вузлів тертя з задовільними змащувальними, реологічними і протизношувальними характеристиками.

Отже, створення заходів для управління процесами самоорганізації дисипативних структур за допомогою мастильних матеріалів, які мають високоефективні змащувальні, реологічні, антифрикційні та протизношувальні властивості, спрямоване на вирішення наукового завдання підвищення зносостійкості пар тертя, що безумовно є актуальним на сьогодні у всіх сферах

прикладної механіки.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень

Обґрунтованість наукових положень, висновків та практичних рекомендацій обумовлена аналізом та теоретичним узагальненням широкого кола наукових праць вітчизняних та закордонних авторів. Достовірність основних положень роботи підтверджується: здійсненням дослідження із фаховим послідовним застосуванням загальноновизнаних наукових методів; позитивною оцінкою наукових праць у рецензованих фахових виданнях; апробацією результатів досліджень на міжнародних конференціях.

Враховуючи все вищезгадане, можна зробити позитивний висновок про обґрунтованість і достовірність основних положень, представлених у дослідженні, а також про їх відповідність заявленим меті та завданням.

Оцінка новизни наукових результатів дисертаційного дослідження

Науковою новизною одержаних результатів слід вважати наступні положення:

1. *Вперше:* визначено механізми самоорганізації дисипативних структур в нестационарних умовах тертя, що полягають в механічних активаційних процесах та хімічній модифікації поверхонь тертя активними компонентами мастильного матеріалу за рахунок синергетичної дії високов'язкого ароматизованого продукту, присадок диалкілдитіофосфату цинку та алкіламінів і забезпечують формування трибоплівки і підвищення протизношувальних властивостей контактних поверхонь.

2. *Удосконалено:* оцінку визначення реологічних показників мастильного матеріалу в трибоконтакті з урахуванням прояву неньютонівських властивостей, надбанням властивостей псевдопластичних рідин та визначено показники градієнту швидкості зсуву, при яких домінує пружна або в'язкісна компоненти напруження, що виникають в анізотропному мастильному шарі при терті.

3. *Отримали подальший розвиток теорії:* методологія оцінки триботехнічних властивостей локального контакту для визначення найбільш значимих показників, які впливають на лінійний знос контактних поверхонь та застосування систем автоматизованих розрахунків при симуляції, візуалізації та моделюванні зубчастого зачеплення для оцінки напружено-деформованого стану локального контакту.

Практична цінність отриманих результатів

Практичне значення дослідження полягає у тому, що розроблено методику оцінки товарних партій олив для гідравлічних систем вертольотів, яка базується на аналізі зміни товщини мастильних шарів та реологічних властивостей в триботехнічному контакті. Ця методика дозволяє визначити стійкість компонентів мастильного матеріалу при нестабільних режимах тертя щодо механо-термічної

деструкції.

Розроблено методику контролю експлуатаційних властивостей оливи «Бора Б» АМГ-10, що дозволяє оцінити антифрикційні та протизношувальні характеристики.

Зазначені методики впроваджені у навчальний процес Державного університету «Київський авіаційний інститут»: розроблено в співавторстві практикум для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» Триботехніка та основи надійності машин

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана згідно з планами науково-дослідної роботи Державного університету «Київський авіаційний інститут». Дослідження проводились в рамках науково-дослідних робіт:

№ 368/ДБ21 «Розроблення апаратно-методологічного нанотриботехнологічного комплексу для підвищення триботехнічних характеристик та ресурсу високонавантажених вузлів тертя авіакосмічної техніки».

№ 16-2022/ 07.01.01. «Підвищення довговічності та забезпечення міцності елементів конструкцій авіаційної техніки» (0125U001009).

Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях

Наукові результати дисертації висвітлені у 7 статтях, опублікованих у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»), 1 стаття у міжнародному спеціалізованому виданні (Scopus, Quartile Q3) та 1 навчально-методична праця. Результати дослідження апробовані на 5 науково-технічних конференціях та реалізовані в науково-технічних розробках. Кількість та якість наукових публікацій Ільїної Ольги відповідає вимогам п.8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота має добре структуровану побудову та складається з вступу, чотирьох розділів, кожен з яких детально висвітлює окремі аспекти дослідження, висновків, додатку та списку використаних джерел.

У вступі дисертантом викладено актуальність теми дослідження, його зв'язок із науковими програмами. Мета роботи відповідає сформульованій темі і визначена в завданнях. Чітко визначено предмет і об'єкт дослідження. Вказано на наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

В першому розділі проаналізовано процеси самоорганізації при терті та зношуванні та їх вплив на надійність трибосистеми. Встановлено, що одним з найважливіших факторів забезпечення надійної роботи вузлів повітряних суден є використання високоякісних мастильних матеріалів. Проаналізовано закономірності зношування в процесі самоорганізації дисипативних структур. Увага приділена енергоємності поверхневих шарів пар тертя, яка являється характеристикою, за якою можливо проводити оцінку поверхневих шарів металу щодо накопичення деформації в широкому діапазоні зміни навантажувально-швидкісних параметрів при терті, а також даний параметр характеризує протизношувальні характеристики контактних поверхонь.

Проаналізовано сучасні напрями трибомоніторингу якості мастильних матеріалів для підвищення ресурсу трибоспряження на прикладі гідравлічних олив повітряних суден.

В другому розділі представлено типи мастильних матеріалів та марки сталей, які були обрані для триботехнічних досліджень. Обґрунтовано вибір програмно-апаратного комплексу для дослідження триботехнічних характеристик контакту при лабораторних випробуваннях мастильних матеріалів в нестационарних умовах роботи в режимі кочення з проковзуванням, що імітує роботу зубчастих передач за допомогою роликової аналогії. Обґрунтовано вибір методу падіння напруження в режимі нормального тліючого розряду для оцінки змащувальної здатності мастильних матеріалів з метою встановлення закономірностей зміни трибологічних та реологічних показників граничного шару мастильного матеріалу. Зазначено методи визначення мікротвердості та лінійного зносу, оцінки структурного стану приповерхневих шарів контактних поверхонь, визначення хімічного мікрорентгено-спектрального аналізу масової частки елементів у зоні контакту растровою електронною мікроскопією, представлено аналіз структурних змін в поверхневих шарах металу по глибині та метод безперервного вдавлювання індентора для оцінки деформаційного мікрорельєфу та спектральної щільності контактних поверхонь для комплексної оцінки дисипативних структур.

В третьому розділі експериментально визначено триботехнічні характеристики локального контакту в нестационарних режимах при змащуванні гідравлічними оливами та проведено моделюванні зубчатого зачеплення шестеренного насосу в ANSYS Workbench. На основі експериментальних даних запропонована емпірична залежність лінійного зносу пар тертя кочення від найбільш значимих триботехнічних параметрів, до яких можна віднести питому роботу тертя, коефіцієнт тертя, ефективну в'язкість оливи в контакті, товщину граничних шарів мастильного матеріалу та об'ємну температуру оливи. Збіжність експериментальних показників лінійного зносу пар тертя зі сталі 30ХГСА при змащуванні гідравлічною оливою АМГ-10 та оцінка зносу за запропонованою емпіричною залежністю на рівні 95-97% доводить перспективність

запропонованої залежності для прогнозування протизношувальних властивостей трибоконтакту в нестационарних умовах роботи. Розроблено алгоритм визначення розподіленого дотичного зусилля по довжині примикання граничного шару мастильного матеріалу до деталі з урахуванням анізотропних властивостей дисипативних структур. Запропоновано розрахункові формули визначення величини і знаку максимальних дотичних напружень в зоні зачеплення зубців з найбільшим проковзуванням, які узгоджуються з результатами моделювання методом скінченних елементів.

У четвертому розділі визначено механізми формування зносостійких дисипативних структур в нестационарних умовах тертя при змашуванні трансмісійними оливами. В роботі запропоновано визначати ефективну в'язкість мастильного матеріалу при формуванні структурованих анізотропних шарів в процесі тертя на основі реологічної моделі псевдопластичних неньютонівських рідин за законом Оствальда-де Вейля. Доцільно припустити, що при розрахунку в'язкості мастильного матеріалу за рівнянням Баруса необхідно враховувати зміну п'єзокоефіцієнта в'язкості залежно від прояву неньютонівських властивостей мастильного матеріалу, які проявляються при формуванні граничних шарів. Доведено, що підвищенню зносостійкості елементів трибосистеми сприяють процеси зміцнення поверхневих шарів при напрацюванні внаслідок утворення дрібнозернистої дисипативної структури, яка є результатом механо-хімічних реакцій між активованою в процесі тертя поверхнею металу та активними компонентами мастильного матеріалу.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Чому для експериментальних досліджень обрано саме сталь 30ХГСА, якщо зубчасті колеса шестеренних насосів виготовляють з дещо інших, наприклад сталь 45, 40Х, 40ХНМА?
2. Перший пункт новизни, бажано підправити стилістично, можливо трохи скоротити.
3. Прохання пояснити: «удосконалено оцінку визначення реологічних показників мастильного матеріалу в трибоконтакті з урахуванням прояву неньютонівських властивостей, надбанням властивостей псевдопластичних рідин та визначено показники градієнту швидкості зсуву, при яких домінує пружна або в'язкісна компоненти напруження, що виникають в анізотропному мастильному шарі при терті» (стор. 6).
4. В третьому розділі йде опис шестеренних насосів, характеристики гідравлічних рідин, в четвертому вже досліджуються трансмісійні мастильні матеріали з різними поліфункціональними присадками для гіпоїдних передач. Чому для дослідження триботехнічних характеристик пар тертя при несталих

умовах роботи вибрано саме гідравлічні та трансмісійні оливи? Бажано пояснити.

5. Бажано підправити термінологію, так на стор. 66 АМГ-10 називається і оливою, і маслом.

6. Зайві в переліку скорочень такі загальновизнані аббревіатури як ГОСТ і ДСТУ.

7. За обсягом виконаних досліджень робота виходить за рамки, визначені метою та поставленими завданнями.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Ільїної Ольги Андріївни на тему «Поліпшення триботехнічних характеристик пар тертя управління процесами самоорганізації дисипативних структур при несталих умовах роботи» є завершеним науковим дослідженням, що виконане на високому науковому рівні. Робота відповідає всім вимогам щодо академічної доброчесності, актуальна, має практичну цінність.

За рівнем наукової новизни, якістю досліджень, достовірністю та обґрунтованістю висновків дисертація Ільїної Ольги Андріївни на тему «Поліпшення триботехнічних характеристик пар тертя управління процесами самоорганізації дисипативних структур при несталих умовах роботи» відповідає галузі 13 – Механічна інженерія, спеціальності 131 – Прикладна механіка і чинним вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ № 44 від 12.01.2022 р., а її автор, Ільїна Ольга Андріївна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 — Прикладна механіка.

Рецензент:

Доцент кафедри хімії і хімічної технології

Державного університету

«Київський авіаційний інститут»,

кандидат технічних наук, доцент

Ігор ТРОФІМОВ

Ірина Трофімова

Вчений секретар КНІ

09.05.2025 р.



Ігор Трофімов