

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Ільїної Ольги Андріївни

на тему «Поліпшення триботехнічних характеристик пар тертя управління процесами самоорганізації дисипативних структур при несталих умовах роботи»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 – Механічна інженерія

за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

Актуальність теми дисертації.

Забезпечення надійної та безпечної експлуатації вузлів тертя авіаційної техніки є однією з найважливіших технічних проблем сучасної авіації. Враховуючи зростаючі навантаження, змінні режими роботи та вимоги до довговічності, ключову роль у функціонуванні трибосистем відіграють мастильні матеріали. Їх якість та властивості безпосередньо впливають на рівень тертя, інтенсивність зношування, енергетичні витрати та загальний ресурс агрегатів.

Сучасні дослідження вказують на недостатню ефективність традиційних методів оцінки мастильних матеріалів в умовах нестационарного тертя, що характерне для реальних умов експлуатації повітряних суден. Актуальність проблеми зумовлена також відсутністю уніфікованих критеріїв триботехнічної діагностики та нормативних показників, які б враховували утворення дисипативних структур, анізотропію поверхневих шарів та зміну властивостей граничного шару мастильного матеріалу.

Розробка нових підходів до аналізу мастильних матеріалів, удосконалення методів випробувань та вивчення процесів самоорганізації в системах тертя дозволяє не лише підвищити зносостійкість трибовузлів, а й створити умови для подовження терміну служби деталей авіаційної техніки. Вивчення енергетичних і структурних перетворень у контактних зонах тертя набуває особливого значення з огляду на потребу у високоточній діагностиці стану техніки та мінімізації експлуатаційних ризиків.

Таким чином, тема дослідження є актуальною, оскільки поєднує в собі фундаментальні аспекти трибології з практичними задачами авіаційної безпеки та надійності.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукові результати дисертаційного дослідження є обґрунтованими, достовірними та такими, що мають суттєву наукову новизну, що

підтверджується сукупністю теоретичних положень, результатів експериментальних досліджень, чисельного моделювання та адекватністю застосованих методів.

Обґрунтованість результатів забезпечено системним підходом до дослідження триботехнічних характеристик в умовах нестационарного тертя, зокрема при коченні з проковзуванням. Застосовано сучасні методи оцінки фізико-хімічних і реологічних властивостей мастильних матеріалів, мікроскопічний аналіз поверхонь, методики мікротвердості та спектрального аналізу контактних зон. Отримані результати узгоджуються з результатами чисельного моделювання в ANSYS Workbench, що підтверджує їхню надійність.

Новизна роботи полягає у вперше визначених механізмах самоорганізації дисипативних структур у зонах тертя, які ґрунтуються на синергетичній дії компонентів мастильного матеріалу та реалізуються через поєднання механічної активації і хімічної модифікації поверхні. Уперше доведено, що формування дрібнозернистої дисипативної структури забезпечує підвищення зносостійкості елементів трибоспряження та зниження питомої роботи тертя.

Достовірність результатів підтверджується високим рівнем збіжності експериментальних даних і розрахункових моделей — зокрема, емпірична залежність лінійного зносу від ключових триботехнічних параметрів показала відповідність на рівні 95–97%, що свідчить про надійність запропонованих підходів.

Удосконалено методи оцінки реологічних властивостей мастильних матеріалів, зокрема із врахуванням їхніх неньютонівських характеристик, та методику визначення змінних дотичних напружень в зонах зачеплення. Подальшого розвитку набули методи комплексного трибомоніторингу і моделювання напружено-деформованого стану контактних поверхонь за допомогою автоматизованих систем аналізу.

Загалом результати дослідження мають значну практичну цінність і можуть бути використані у діагностиці, прогнозуванні та оптимізації роботи авіаційних трибосистем.

Дисертація виконувалася відповідно до плану наукових досліджень на кафедрі прикладної механіки та інженерії матеріалів Державного університету «Київський авіаційний інститут». Результати науково-дослідної роботи, у якій здобувачка брала участь як виконавиця, були реалізовані згідно з актом від 07.12.2023 року у Кременчуцькому льотному коледжі Харківського національного університету внутрішніх справ у сфері безпеки польотів та відповідно до акта від 19.03.2024 року, укладеного з ТОВ «БОРА Б» на підставі оцінки триботехнічних властивостей оливи з урахуванням сертифіката якості виробника.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Ільїної О.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 131 – Прикладна механіка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Прикладна механіка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям прикладна механіка.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ільїної Ольги Андріївни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 179 сторінок. Робота містить 38 рисунків, 14 таблиць, 3 додатки. Бібліографічний список включає 166 літературних джерел.

У *вступі* зазначені актуальність обраної теми, мета та завдання дослідження, наведено науково-дослідні роботи, в рамках яких проводилось дисертаційне дослідження, охарактеризовано застосовані методи дослідження, представлено особистий внесок здобувача, наукову новизну результатів дослідження та їх практичне значення.

У *першому розділі* дисертації проаналізовано процеси самоорганізації при терті та зношуванні, що визначають надійність роботи трибосистем, зокрема в авіаційній техніці. Основну увагу приділено впливу якості мастильних матеріалів на зносостійкість вузлів тертя, а також необхідності удосконалення методів їхнього аналізу. Встановлено, що ефективна діагностика триботехнічних параметрів дозволяє запобігати передчасному зносу та деформаціям у вузлах тертя.

Розглянуто енергетичну природу процесів тертя і зношування, описано механізми перетворення механічної енергії у внутрішню, теплову та хімічну. Здійснено аналіз закономірностей утворення дисипативних структур і визначено роль енергоємності поверхневих шарів у прогнозуванні протизношувальних властивостей матеріалів.

Також подано огляд сучасних підходів до трибомоніторингу мастильних матеріалів на прикладі гідравлічних олив, що застосовуються в авіації. На

основі проведеного аналізу сформульовано мету, завдання і напрямки подальшого дослідження.

У другому розділі подано перелік мастильних матеріалів та марок сталей, що були використані для проведення триботехнічних випробувань. Обґрунтовано вибір програмно-апаратного комплексу, призначеного для дослідження характеристик тертя в умовах нестационарного навантаження — зокрема, у режимі кочення з проковзуванням, що моделює роботу зубчастих передач за допомогою роликowego контакту.

Також обґрунтовано застосування методу падіння напруження в умовах нормального тліючого розряду для аналізу змащувальної здатності мастильних матеріалів. Визначено комплекс методів оцінювання трибологічних властивостей, до яких належать: мікротвердість, лінійний знос, структурний стан приповерхневих шарів, хімічний склад контактної зони (за допомогою мікрорентгеноспектрального аналізу та растрової електронної мікроскопії), а також метод безперервного вдавлювання індентора. Останній дозволяє оцінити деформаційний мікрорельєф та спектральну щільність поверхонь, що є важливими параметрами для всебічної характеристики дисипативних структур, що формуються в зоні тертя.

У *третьому розділі* представлено результати експериментального дослідження триботехнічних характеристик локального контакту в умовах нестационарного тертя при змащуванні гідравлічними оливами. Крім того, проведено комп'ютерне моделювання роботи зубчастого зачеплення шестеренного насоса з використанням середовища ANSYS Workbench.

На основі експериментальних даних запропоновано емпіричну залежність лінійного зносу пар тертя від основних триботехнічних параметрів: питомої роботи тертя, коефіцієнта тертя, ефективної в'язкості оливи в зоні контакту, товщини граничного шару та об'ємної температури оливи. Отримана залежність показала високу достовірність відповідності експериментальним результатам при змащуванні пари тертя зі сталі 30ХГСА.

Окрім цього, розроблено алгоритм визначення розподілу дотичного зусилля вздовж зони примикання граничного шару мастильного матеріалу до поверхні деталі, з урахуванням анізотропних властивостей дисипативних структур і моделі хвилеподібного стану ущільненого мастильного шару. Також запропоновано розрахункові залежності для визначення величини та знаку максимальних дотичних напружень у зоні найбільш інтенсивного проковзування зубців, які підтверджені результатами чисельного моделювання методом скінченних елементів.

У *четвертому розділі* дисертації розкрито механізми утворення зносостійких дисипативних структур у нестационарних умовах тертя при застосуванні трансмісійних олив. Встановлено, що формування таких структур

відбувається внаслідок дії механо-хімічних процесів, коли активовані в процесі тертя поверхні металу взаємодіють з активними компонентами мастильного матеріалу, утворюючи дрібнозернистий структурований шар, що забезпечує підвищену зносостійкість трибосистеми.

Встановлено, що питома робота тертя в фрикційному контакті при використанні оливи трансмісійної «Бора Б» ТСгіп знаходиться в діапазоні 736.....11640 Дж/мм², що характеризує умови роботи трибосистеми з середнім проявом енергетичних процесів в триботехнічному контакті, досліджуваний мастильний матеріал за таких умов забезпечує реалізацію в контакті напівсухого режиму мащення при пуску з швидким переходом до змішаного режиму мащення. Встановлено зменшення в 1,6 раза загального лінійного зносу роликів зі сталі 30ХГСА при змащуванні пар тертя оливою трансмісійною «Бора Б» ТСгіп, в порівнянні з оливою для гіпоїдних передач ТСгіп. Встановлена кореляційна залежність лінійного зносу сталі від кінетики формування граничних плівок мастильним матеріалом, показників питомої роботи тертя в контакті та утворення дисипативних структур на поверхні металу з підвищеною твердістю.

Висновки узагальнено представляють результати досліджень і стисло подають основні результати роботи.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 15 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 7 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у іноземному спеціалізованому виданні, 5 праць апробаційного характеру, 1 розділ монографії та 1 навчально-методична праця.

Результати дисертаційної роботи повністю розкрито у наукових публікаціях автора. В цілому робота виконана на високому рівні, написана технічно грамотно, легко сприймається профільними фахівцями.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В роботі на сторінці 71 не зазначено чи проводилась термообробка контактних поверхонь, виготовлених зі сталі 30ХГСА.

2. В розділі 3 при дослідженні мікротвердості випереджаючої та відстаючої поверхонь сталі 30ХГСА для кращої наочності не погано б було представити результати у відсотковому співвідношенні, крім того не проаналізовано вплив шорсткості на зміну мікротвердості поверхонь тертя.

3. В роботі при оцінці напружено-деформованого стану зубчастої пари в зоні проковзування на площадці контакту не вказано про який відсоток проковзування йде мова.

5. В роботі на графіках є незначні граматичні помилки, що не впливають на суть роботи.

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», виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для механічної інженерії. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Ільїна Ольга Андріївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Офіційний опонент:

Доцент кафедри виробництва,
ремонт та матеріалознавства
Національного транспортного університету,
кандидат технічних наук, доцент



Юлія ТУРИЦЯ

Підпис оф.опонента
к.т.н., доцента Ю.О. Туриці

засвідчує:
вчений секретар

Національного транспортного університету



Олександр ІВАНУШКО



« 08 » 05 2025 року