

ЗАТВЕРДЖУЮ

в. о. президента

державного некомерційного підприємства

«Державний університет

«Київський авіаційний інститут»



Ксенія СЕМЕНОВА

03 2025 року

ВИСНОВОК

Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут» (далі – КАІ) про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Леусенко Дар'ї Володимирівни, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка». на тему «Фізико-хімічні процеси підвищення змащувальної дії мастильних матеріалів з багатофункціональними присадками в умовах роботи зубчастих передач»

ВИТЯГ

із протоколу № 4 розширеного засідання
кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ:
від 05 березня 2025 року

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ:

Головуючий на засіданні Носко П.Л. д.т.н., професор, професор кафедри,
Кіндрачук М.В. член-кореспондент НАН України, д.т.н., професор, професор кафедри,

Мікосянчик О.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, гарант освітньо-наукової програми «Прикладна механіка»;

Башта О.В. к.т.н., доцент, доцент кафедри;

Богдан С.Ю. к.т.н., доцент, доцент кафедри

Корнієнко А.О. к.т.н., с.н.с., доцент кафедри;

Мельник В.Б. к.т.н., доцент, доцент кафедри;

Повгородній В.О. к.т.н., доцент, доцент кафедри;

Шевченко О.А. к.т.н., доцент, доцент кафедри;

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники інших кафедр КАІ:

Мнацаканов Р.Г., д.т.н., професор, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Хімко А.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Якобчук О.Є., к.т.н., старший викладач кафедри конструкції літальних апаратів.

Серед присутніх 4 доктори технічних наук і 8 кандидатів технічних наук.

Порядок денний:

Обговорення дисертаційного дослідження аспірантки кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Леусенко Дар'ї Володимирівни на тему «Фізико-хімічні процеси підвищення змащувальної дії мастильних матеріалів з багатофункціональними присадками в умовах роботи зубчастих передач», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка».

Науковий керівник: Кіндрачук Мирослав Васильович - член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Дисертація виконувалась на кафедрі прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Аерокосмічного факультету НАУ (протокол № 10 від 15 листопада 2021 року).

Виступили:

Здобувачка Леусенко Дар'я Володимирівна представила презентацію з основними положеннями дисертації на тему «Фізико-хімічні процеси підвищення змащувальної дії мастильних матеріалів з багатофункціональними присадками в умовах роботи зубчастих передач», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка».

Доповідачка обґрунтувала актуальність дослідження, визначила мету і основні завдання, обґрунтувала методи дослідження, охарактеризувала об'єкт та предмет дисертації, представила основні наукові та практичні результати, висновки, що виносяться на захист, надала інформацію про впровадження результатів дослідження в науково-виробничому підприємстві «НП ПРОДАКШИН» та навчальному процесі КАІ.

Виконаний огляд літературних джерел в області теорії й практики формування змащувальних шарів в локальному контакті зубчастих передач дозволив виділити основні напрями, що спрямовані на :

- розробку критеріїв оцінки ефективності змащувальної дії мастильних матеріалів з фторвуглецевими присадками в локальному контакті при стаціонарних та нестаціонарних режимах роботи зубчастих передач;
- оцінку впливу присадок та домішок до мастильних матеріалів на

припрацювання пар тертя та формування змащувальних шарів;

- розробку рекомендацій правильного підбору редукторних олив за рахунок підвищення ефективності їх змащувальної дії;
- дослідження механізму змащувальної дії фторвуглецевих присадок до мастильних матеріалів та їх впливу на антифрикційні та протизносні властивості пар тертя з локальним контактом;
- дослідження фізико-хімічних процесів підвищення змащувальної дії мастильних матеріалів з багатофункціональними присадками в умовах роботи зубчастих передач.

Виходячи з результатів аналізу літератури була сформульована мета і задачі досліджень.

В якості основного методу оцінки ефективності змащувальної дії мастильних матеріалів з присадками використовували метод вимірювання товщини мастильного шару методом вимірювання падіння напруги в режимі нормального тліючого розряду (метод ВПН у режимі НЖР), розроблений Райко М.В.. Для досягнення мети та вирішення задач дослідження в роботі використовувались розроблені при участі автора методики: оцінки ефективності масляної дії олив з присадками при стаціонарних та нестаціонарних режимах тертя, оцінки складових змащувального шару в локальному контакті зубчастих передач, впливу карбон фторидних присадок на показники якості змащувальної дії мастильних матеріалів в процесі припрацювання зубчастих передач.

Основні результати дослідження ефективності змащувальної дії отримані на модернізованій машині СМЦ-2 (обладнаної системою вимірювання товщини мастильного шару, моменту тертя, плавною зміною частоти обертів, системою пуск-зупинка), деякі результати отримані на стандартних машинах тертя типу 2070 СМТ- 1, МІ-1М, 4КМТ-1. Для експериментального підтвердження технології поверхневого зміцнення зубчастих коліс та підшипників в масляному середовищі з присадкою фторованого графіту використовувався спеціальний стенд (на базі токарного верстата), обладнаний віброкамерою.

У розділі 3 наведено результати дослідження впливу багатофункціональних поверхнево та хімічно активних присадок до мастильних матеріалів на:

- змащувальний шар в локальному контакті зубчастих передач;
- якість припрацювання зубчастих передач;
- втомне зношування і якість поверхонь тертя зубчастих передач;
- несучу спроможність змащувального шару редукторних масел з присадками;
- процеси формування мастильного шару при терті сталі по несталевим металевим поверхням.

Також в розділі 3 розглянуті механізми дії поверхнево та хімічно активних присадок, розроблені рекомендації для вибору редукторних олив з присадками. Четвертий розділ присвячений дослідженню фізико-хімічних процесів еволюції

граничних змащувальних шарів, сформованих мастильними матеріалами з карбон фторидними присадками та їх вплив на антифрикційні та протизносні властивості пар тертя з локальним контактом.

Запропонована адсорбційно-хімічна модель механізму змащувальної дії карбон фторидних присадок до мастильних матеріалів, яка одночасно враховує особливості формування граничних змащувальних шарів та їх хімічну активність по відношенню до поверхні пар тертя при стаціонарних та нестаціонарних режимах роботи зубчастих передач.

У розділі 4 наведені результати дослідження поверхневих шарів трибосполучень з використанням сучасних технологій поверхневого зміцнення та модифікування, а саме:

- особливості структури та властивості поверхневих шарів після граничного режиму мащення;

- аналіз хімічного складу трибоплівок утворених масляним середовищем з карбон фторидними присадками;

- технології молекулярного армування поверхонь тертя зубчастих коліс та підшипників з використанням технологічних рідин з карбон фторидними присадками.

Результати випробувань реальних вузлів тертя аерокосмічної техніки утворенням на поверхнях тертя фторвмісних нано - мікро - розмірних антифрикційних протизносних структур показали, що інтенсивність зносу при реалізації технології утворення фторвмісних захисних плівок на поверхнях тертя зменшується не менше ніж на 25-30%; число циклів навантаження до настання викришування в підшипниках зростає в 1,2-1,5 рази; навантажувальна здатність мастильного шару підвищується на 35...40%; навантаження заїдання збільшується до 2 разів.

Розроблені методики оцінки ефективності застосування мастильних матеріалів з присадками для зубчастих передач, працюючих в різних режимах роботи (від припрацювання до екстремальних), використовуються при проведенні наукових досліджень, виборі складу, структури та технологій нанесення зносостійких покриттів і удосконаленні мастильних матеріалів різного експлуатаційного призначення.

Після закінчення презентації присутніми на захисті фахівцями були поставлені наступні запитання:

Запитання до здобувача:

1. **Мнацаканов Р.Г.** д.т.н., професор, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден.

Запитання: Шановна Дар'я Володимирівно, яким чином Ви підбирали оливи та присадки для дослідів?

На слайдах 8;13 наведені результати випробувань: авіаційних, автомобільних,

моторних, індустріальних олив, в літературному огляді розділу 1, достатньо уваги приділено аналізу досліджень моторної присадки діалкілдітіофосфат цинку (ZDDP), а тема вашого дослідження стосується зубчастих передач.

Відповідь: Дякую за запитання. Основним критерієм підбору олив та присадок для дослідів була їх здатність впливати на закономірності формування мастильними матеріалами граничних шарів на активованих тертях поверхневих шарах металу, а моторну присадку ZDDP ми використовували просто як галогенміську (S+P) хімічно-активну речовину., для порівняння з фторміською речовиною.

2. Башта О.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановна Дар'я Володимирівно, чому саме фторміські присадки? Які їх переваги, наприклад, в порівнянні з фосфор- та сірковмістними? Який склад КФ-присадки? Чи це маслорозчинна присадка чи добавка (суміш)?

Відповідь: Дякую за запитання. Фусаро та Слайні виявили, що зносостійкість покриттів зі фтористого графіту вище, чим зносостійкість натурального графіту чи дисульфиду молібдена. Коефіцієнт тертя фтористого графіту нижче, ніж у натурального графіту. Під час випробувань на кульковій машині тертя ще Осікава встановив, що питоме навантаження консистентної змазки суттєво збільшується з додаванням в неї, в якості присадки фтористого графіту.

По зносостійкості ці фторовані суміші можна порівняти з відомими промисловими присадками з ді-н-бутилдітіофосфатом (ZDTP). З попередньо проведених досліджень відомо, що оливо розчинні фторовані суміші показали себе ефективними зносостійкими антифрикційними присадками при випробуваннях на кульковій машині тертя та іншому трибологічному обладнанні. Механізм дії цих матеріалів заснований на утворенні плівки, яка містить металофторид.

Фосфор та сірковмісні присадки типу (ZDTP) на екстримальних режимах також утворюють на поверхні сульфідів та фосфідів, але трибоплівки металофторидів мають кращі механічні характеристики, а за рахунок того що фторміські присадки, які досліджуються складаються з 2/3 частин ПАР - рідина (частіше карбонові кислоти, або олива на їх основі, наприклад, олива КУА) і 1/3 карбофториди (порошок від сірого до білого кольору, близький до графіту, або дисульфиду молібдену). Механізм дії КФ-присадок показаний на слайді 20.

3. Повгородній В.О. к.т.н., доцент, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановна Дар'я Володимирівно, які поверхнево-активні речовини (ПАР) ви використовували в якості присадок? Як вони впливають на змащувальну дію мастильних матеріалів? Який механізм їх дії?

Відповідь: Дякую за запитання. В якості ПАР ми використовували карбонові кислоти. Результати досліджень мастильної дії оливи МС-20 з трьома з них

(олеїною, оцтовою та мурашиною кислотою) у початковий період – період стабілізації параметрів змащувальної дії наведено на слайді 9. Введення присадок у всіх випробуваннях призводило до зниження товщини мастильного шару на величину, яка залежить від виду присадки та умов навантаження. Найбільший вплив мають присадки мурашиної кислоти, які здатні зменшити товщину мастильного шару на 90% і більше – аж до появи та розвитку схоплювання контактних поверхонь. Зі збільшенням тиску посилюється дія присадок пропорційно їх молекулярній вазі, тобто зі збільшенням тиску з 400 до 1000 МПа товщина шару зменшувалася приблизно на 0, 0,7 і 20% відповідно в присутності мурашиної, оцтової та олеїнової кислот.

Механізм змащувальної дії ПАР заснований на утворенні граничних змащувальних шарів молекулами ПАР за рахунок Ван-дер-Вальсових сил в процесі фізичної адсорбції.

4. Мікосянчик О.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановна Дар'я Володимирівно, на слайді 17 показано зміну товщини змащувального шару в процесі нагрівання. У процесі підвищення температури товщина змащувального шару зменшується, а з 50-70 °С (для різних масел) - збільшується. В чому причина?

Відповідь: Дякую за запитання. У процесі підвищення температури товщина змащувального шару зменшується, за рахунок зменшення гідродинамічної складової мастильного шару, а з 50-70°C товщина починає збільшуватись за рахунок росту граничної складової (органічних та елементоорганічних хемосорбційних плівок СОП та ЕОП).

Запитання: і друге запитання по слайду 17: як впливають хімічно-активні присадки на товщину мастильного шару.

Відповідь: Дякую за запитання. Дійсно, на слайді 17 показаний вплив двох хімічно-активних речовин на товщину мастильного шару. Якщо введення в індустріальну оливу І-20А 2% присадки ДФ-11 збільшило сумарну товщину більше ніж в два рази, а введення в індустріальну оливу І-20А 2% присадки ОТП майже вдвічі зменшило товщину мастильного шару., збільшення відсотку присадки з 2% до 5% зменшило товщину до 0 і навіть блокувало утворення СОП.

З наведених результатів експериментів можна дійти висновку, що традиційне використання хімічно-активних присадок не завжди покращує змащувальну дію, а в деяких випадках і погіршує, блокуючи формування хемосорбційних граничних плівок (СОП).

Тому для повної оцінки присадок, окрім їх випробувань на специфічну дію, необхідно враховувати ще інші показники змащувальної дії, насамперед здатність олів розділяти поверхні тертя та їх вплив на несучу спроможність змащувального шару.

5. **Якобчук О. Є.**, к.т.н., старший викладач кафедри конструкції літальних апаратів.

Запитання: Шановна Дар'я Володимирівно, чи порівнювали ви антифрикційну дію фторованого графіту з графітом та дисульфідом молібдену? Чому ви стверджуєте що в присутності фторованого графіту тертя менше? І те і те – модифікатори тертя.

Відповідь: Дякую за запитання. Структуру фтористого графіту (CF_x)_n точно визначити не вдалося, але в літературі була запропонована структура, яка має ковалентні зв'язки між атомами фтору та вуглецю, а також гексагональну будову вуглецевих зв'язків. Рентгенівська дифракція показала, що відстань між площинами шарів вуглецю збільшилась від 3,4А⁰ в графіті до, приблизно, 8А⁰ у фтористому графіті. Причому, змінилась не тільки відстань між площинами вуглецевих шарів, але і відстань між атомами вуглецю. Таким чином структура складається з «хвилястого шару» атомів вуглецю, розміщеного між двома шарами фтору, де локалізуються зсувні деформації.

6. **Корнієнко А.О.** к.т.н., с.н.с., доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановна Дар'я Володимирівно, навіщо в роботі наведені результати досліджень підшипників кочення, якщо в назві роботи зубчасті передачі?

Відповідь: Дякую за запитання. Результати досліджень підшипників кочення, наведені для підтвердження універсальності методики підвищення зносостійкості вузлів тертя утворенням на поверхнях фтормісних антифрикційних протизносних структур. Ця методика може бути впроваджена для широкого кола вузлів тертя, в тому числі зубчастих передач та підшипників.

Після відповідей на запитання виступили:

Науковий керівник – член-кореспондент НАН України, д.т.н., професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Кіндрачук Мирослав Васильович.

Мирослав Васильович зазначив, що Леусенко Д.В. поступила до аспірантури Національного авіаційного університету в 2021 році. Освітня та наукова складові навчання виконані в повному обсязі. Дослідження проводилось на експериментальній базі кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Результати досліджень висвітлені в 14 наукових працях, з них стаття в науково-метричних базі SCOPUS, 7 статей у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України за спеціальністю дисертації, в 2 практикумах, 4 – у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій.

Робота виконувалася як складова частина досліджень, що проводились кафедрою прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Основні науково-технологічні результати і висновки дисертаційної роботи використовуються при підготовці здобувачів вищої освіти освітнього ступеня

доктор філософії за освітньо-науковою програмою 131 «Прикладна механіка» при викладанні дисциплін «Трибологія і інженерія поверхні» та «Триботехнічні матеріали та методи підвищення зносостійкості» на кафедрі «Прикладної механіки та інженерії матеріалів» Аерокосмічного факультету «Державний університет «Київський авіаційний інститут».

Висунуті на захист наукові положення достатньо обґрунтовані, а експериментальні дані, завдяки використанню сучасних методів дослідження і коректній інтерпретації, є достовірними.

Відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна механіка» третього рівня вищої освіти за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» Д.В. Леусенко оволоділа всіма програмними компетенціями, зокрема, інтегральною, яка полягає в здатності розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної, у тому числі дослідницько-інноваційної діяльності у сфері механічної інженерії

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка націлена на вирішення актуальної науково-прикладної задачі, відповідає спеціальності 131 – «Прикладна механіка», а її автор Леусенко Дар'я Володимирівна заслуговує присудження ступеня доктора філософії на підставі Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, який затверджено Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

Науковий керівник запропонував затвердити позитивний висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів зазначеної дисертації та рекомендувати її до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – «Механічна інженерія», за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка».

Обговорення дисертаційного дослідження.

Мнацаканов Р.Г., д.т.н., професор, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден (*рецензент*).

Професор Мнацаканов Р.Г. зазначив: робота є ґрунтовним дослідженням, присвяченим актуальній науково-прикладній проблемі. В роботі є наукова новизна, практична цінність. Результати висвітлені в достатній кількості фахових публікацій, впроваджені в «НП Продакшен» і в навчальному процесі КАІ. Але робота має недоліки:

1. Обсяг 1-го розділу (літературний огляд) завеликий. Бажано його скоротити за рахунок вилучення інформації про моторні оливи та присадки.

2. Необхідно зробити форматування рисунків.

Але загалом дисертаційна робота є завершеною та такою, що відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженому постановою Кабінету

Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44. Я підтримую роботу Леусенко Д.В.

Корнієнко А.О., к.т.н., с.н.с., доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів (рецензент).

Доцент Корнієнко відмітив, що робота є складним експериментальним дослідженням. Особливу цінність має її практична спрямованість. Робота є актуальною, містить наукову новизну, оригінальні методики і їх реалізацію. Результати роботи опубліковані та апробовані на багатьох міжнародних конференціях, опубліковані у відомих авторитетних виданнях. До недоліків можна віднести те, що багато цікавих результатів дослідження, які є в дисертації не потрапили на слайди

У результаті заслуханої доповіді можна зробити висновок щодо відповідності дисертаційної роботи вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах). Роботу Леусенко Д.В. підтримую.

Мікосянчик О.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Актуальність роботи не викликає сумнівів. Наукова новизна доведена, публікації категорії SCOPUS вказують на рівень дослідження. Я підтримую цю роботу та вважаю, що її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії.

Носко П.Л., д.т.н., професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Професор Носко П.Л. відмітив, що робота на його думку, новаторська. Проведена робота має практичне спрямування, вважаю, що дослідження було корисним і це підтверджено актом впровадження на «НП ПРОДАКШИН». Робота висвітлена в публікаціях, на конференціях, повністю відповідає вимогам до дисертацій на здобуття вченого ступеня доктор філософії. На мою думку, треба підтримати представлену сьогодні роботу.

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Леусенко Дар'ї Володимирівни на тему «Фізико-хімічні процеси підвищення
змащувальної дії мастильних матеріалів з багатофункціональними
присадками в умовах роботи зубчастих передач» поданої на здобуття ступеня
доктора філософії
з галузі знань 13 «Механічна інженерія»
за спеціальністю 131 – Прикладна механіка**

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Гранична змащувальна дія мастильних матеріалів може бути значно покращена за рахунок легування їх різними присадками. Присадки та їх композиції, які вводяться в базове масло у певних, строго дозованих

концентраціях, дозволяють отримувати, по суті, нові продукти і заздалегідь заданими властивостями, які часто мають мало спільного з вихідним маслом. За рівнем взаємодії з поверхнею присадки прийнято поділяти на поверхнево-активні (ПАР) та хімічно активні (ХАР). В основі механізму дії ПАР лежить висока адсорбційна активність, а ХАР - хімічна реакційність.

На змащувальну дію присадок дуже впливає температура. Численними експериментальними дослідженнями встановлено, що ПАР при температурах 60...100 °С десорбують з поверхні, і сформовані ними фізично адсорбовані шари руйнуються, а утворення хімічних сполук ХАР починається при температурах порядку 180...200°C. Таким чином існує широкий, найбільш поширений в експлуатації діапазон температур (60...180°C) для пар тертя з локальним контактом, в якому застосування існуючих присадок малоефективно, а в деяких випадках, навіть шкідливо.

Останнім часом особливий інтерес дослідників викликають багатофункціональні присадки, до складу яких входять фторвуглецеві сполуки типу (CF_x)_n, здатні працювати як при помірних температурах при припрацюванні та обкатці, так і на екстремальних режимах, близьких до заїдання. Механізм дії подібних присадок прийнято пояснювати на основі механо-фізико-хімічних уявлень, найчастіше порівнюючи з механізмом дії графіту та дисульфиду молібдену; антифрикційні властивості присадок типу

(CF_x)_n карбонофторидів) пояснюються збільшеною більш ніж у 3 рази, в порівнянні з графітом, відстанню між площинами шарів вуглецю, а протизносні властивості підвищуються за рахунок хімічного модифікування поверхонь з утворенням металофторидних сполук.

Незважаючи на те, що антифрикційні та протизносні властивості фторвуглецевих присадок типу (CF_x) досить вивчені, досліджень граничних мастильних шарів, утворених цими присадками, майже немає.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційна робота виконана згідно з планами науково-дослідної роботи КАІ. Автор була співвиконавицею держбюджетних тем.

Дисертаційні дослідження проводились в рамках держбюджетної (кафедральної) науково-дослідної роботи № 123/07.01.02 „Підвищення довговічності деталей авіаційних трибомеханічних систем сучасними методами інженерії поверхні”. Автором проведено дослідження змащувальної дії мастильних матеріалів та дослідження її впливу на антифрикційні, протизносні та протизадирні властивості пар тертя з локальним контактом в умовах кочення зі сковзанням.

Дисертаційні дослідження проводились в рамках держбюджетної науково дослідної роботи кафедральної науково-дослідної роботи № 16-2022 «Підвищення довговічності та забезпечення міцності елементів конструкцій авіаційної

техніки». Автором проведений порівняльний аналіз ефективності роботи мінеральних та синтетичних редукторних олив за основними (стандартними) фізико-хімічними та трибологічними характеристиками.

Дисертаційні дослідження проводились в рамках науково-дослідних робіт держбюджетної НДР 446-ДБ23 « Розроблення інноваційних технологій поверхневого зміцнення та відновлення деталей авіаційної техніки та техніки спеціально призначення». Автором розроблено методику оцінки будови та властивостей поверхневих шарів покриттів після граничного режиму тертя.

3. Мета та основні завдання роботи. Метою роботи є дослідження фізико-хімічних процесів підвищення змащувальної дії мастильних матеріалів з багатофункціональними фторміськими присадками типу (CFx)п та вивчення їх впливу на антифрикційні, протизносні та протизадирні властивості пар тертя з локальним контактом .

Відповідно до мети в роботі поставлені та вирішуються наступні завдання:

1. Розробити методологію оцінки ефективності змащувальної дії мастильних матеріалів з фторміськими присадками типу (CFx)п при сталих та несталих умовах тертя.

2. Встановити закономірності зміни змащувальних, реологічних, антифрикційних та протизношувальних властивостей олив з фторміськими (карбон фторидними) присадками типу (CFx)п при формуванні мастильними матеріалами граничних шарів на активованих тертях поверхневих шарах металу.

3. Визначити закономірності зношування та розробити методику прогнозування оптимальної структури поверхневих шарів металу при попередній технологічній та експлуатаційній модифікації поверхонь тертя в масляному середовищі з фторміськими присадками типу (CFx)п.

4. Запропонувати методики та технології підвищення зносостійкості вузлів тертя аерокосмічної техніки утворенням на поверхнях тертя фторвмісних наномікро- розмірних антифрикційних протизносних структур.

5. Визначити склад та глибину поверхневих шарів металу при попередній технологічній та експлуатаційній модифікації поверхонь тертя в масляному середовищі з фторміськими присадками типу (CFx)п за допомогою методів металографічного, мікрорентгеноспектрального аналізу та скануючої електронної мікроскопії.

6. Розробити адсорбційно-хімічну модель механізму змащувальної дії карбонофторидних присадок.

4. Об'єкт дослідження - змащувальна дія мастильних матеріалів з багатофункціональними присадками в умовах роботи зубчастих передач.

5. Предмет дослідження - закономірності зміни змащувальних, реологічних, антифрикційних та протизношувальних властивостей олив з фторміськими (карбонофторидними) присадками типу (CFx)п при формуванні мастильними матеріалами граничних шарів на активованих тертях поверхневих

шарах металу;

6. Методи дослідження. В якості основного методу оцінки ефективності змащувальної дії мастильних матеріалів з присадками використовували вимірювання товщини мастильного шару методом вимірювання падіння напруги в режимі нормального жевріючого розряду (метод ВПН у режимі НЖР). Для досягнення мети та вирішення задач дослідження в роботі використовувались розроблені при участі автора методики: оцінки ефективності масляної дії олив з присадками при стаціонарних та нестаціонарних режимах тертя, оцінки складових змащувального шару в локальному контакті зубчатих передач, впливу карбон фторидних присадок на показники якості змащувальної дії мастильних матеріалів в процесі припрацювання зубчастих передач, технології поверхневого зміцнення зубчастих зачеплень та підшипників в масляному середовищі з присадкою фторованого графіту.

Розроблені методики оцінки триботехнічних показників мастильних матеріалів на етапі лабораторних досліджень дозволяють аналізувати спектр необхідних експлуатаційних параметрів трибоконтакту. Проведення оцінки якості мастильних матеріалів за антифрикційними, змащувальними, протизношувальними показниками з урахуванням типу базової основи, наявності функціональних присадок дозволяє встановити взаємозв'язок між трибологічними показниками контакту, складом мастильного матеріалу та активованими поверхневими шарами контактних поверхонь та визначити механізми структурної пристосованості трибосистеми та оптимізувати вибір редукторних олив за трибологічними та фізико-хімічними характеристиками.

Мікроструктуру поверхонь тертя після трибологічних випробувань вивчали методами металографії, оптичної та електронної растрової мікроскопії. Тонкоплівкову будову поверхневих шарів досліджували методами мікрозондової Оже-електронної спектроскопії та ступінчастого травлювання характерних мікроділянок поверхонь тертя йонами аргону (прилад JEOL JAMP-10S).

Основні результати дослідження ефективності змащувальної дії отримані на модернізованій машині СМЦ-2 (обладнаної системою вимірювання товщини мастильного шару, моменту тертя, плавною зміною частоти обертів, системою пуск-зупинка), деякі результати отримані на стандартних машинах тертя типу 2070 СМТ- 1, МІ-1М, 4КМТ-1. Для експериментального підтвердження технології поверхневого зміцнення зубчастих коліс та підшипників в масляному середовищі з присадкою фторованого графіту використовувався спеціальний стенд (на базі токарного верстата), обладнаний віброкамерою.

7. Наукова новизна дослідження полягає в розробці моделі механізму

мастильної дії КФ-вмісних середовищ, що складається з наступних процесів: фізичної адсорбції полярно-активних молекул КФ-присадок і базової олії; хемосорбції на поверхні тертя фторвуглецевих з'єднання КФ-присадки з утворенням елементоорганічних плівок - ЕОП та хемосорбції вуглеводнів базової олії з утворенням самогенеруючих органічних плівок СОП; хімічного розкладання КФ-присадки та взаємодії продуктів розкладання з металом поверхні тертя з утворенням металофторидних з'єднань.

уперше:

- досліджено закономірності еволюції граничних мастильних шарів, сформованих мастильними матеріалами з КФ-присадками та їх вплив на антифрикційні, протизносні, протизадирні властивості пар тертя з локальним контактом.

удосконалено:

- оціночні критерії ефективності мастильної дії КФ-присадок при різних режимах експлуатації зубчастих передач та підшипників (сталих та несталых).

отримали подальший розвиток:

- методи дослідження глибини та елементного складу модифікованого поверхневого шару після роботи у фторміському масляному середовищі.

8. Теоретичне значення.

Теоретичне значення роботи полягає у визначенні механізму змащувальної дії фторміських присадок в умовах роботи зубчастих передач

9. Практичне значення та використання результатів дисертаційного дослідження.

Відповідно до завдань експериментального дослідження:

- модернізовано машини тертя СМЦ-1, МІ-1М;
- спроектовано установки для стендових трибологічних випробувань зубчастих пар та підшипників (вібростенд з камерою заповненої технологічною рідиною з присадкою фторованого графіту; стенд на базі токарного верстата)

Розроблено методики:

- оцінки ефективності змащувальної дії на сталому та несталому режимі;
- роздільного вимірювання гідродинамічної та граничної складових мастильного шару.
- поверхневого зміцнення в масляному середовищі з присадкою фторованого графіту для підвищення зносостійкості поверхонь зубчастих зачеплень, підшипників та інших пар тертя різних машин
- оцінки впливу присадок на несучу здатність мастильного шару за екстремальних умов тертя;
- оцінки впливу припрацювання в КФ-міських середовищах на втомну довговічність пар тертя.

На підставі проведених досліджень:

- розроблені науково-обґрунтовані рекомендації по підборі та застосуванні редукторних олиф з присадками;
- розроблена рецептура технологічної рідини з присадкою фторованого графіту.

- запропонована методика оцінки ефективності використання мастильних матеріалів з присадками для усталених та неусталених режимів роботи зубчастих передач (з розробкою програми розрахунку інтегрованого показника змащувальної дії).

Результати дисертаційної роботи, а саме: ресурсопідвищуюча технологія поверхневого зміцнення в масляному середовищі з присадкою фторованого графіту впроваджена в науково-виробничому об'єднанні «НП ПРОДАКШН». (*акт про впровадження № 03/325 від 03.03.2025*).

Основні науково-технологічні результати і висновки дисертаційної роботи використовуються при підготовці здобувачів вищої освіти освітнього ступеня доктор філософії за освітньо-науковою програмою 131 «Прикладна механіка» при викладанні дисциплін «Трибологія і інженерія поверхні» та «Триботехнічні матеріали та методи підвищення зносостійкості» на кафедрі «Прикладної механіки та інженерії матеріалів» аерокосмічного факультету Національного авіаційного університету (*акт про впровадження від 14.12.2022*).

10. Особистий внесок здобувача. Дисертація «Фізико-хімічні процеси підвищення змащувальної дії мастильних матеріалів з багатофункціональними присадками в умовах роботи зубчастих передач» Леусенко Дар'ї Володимирівни є самостійною науковою працею, в якій наведено теоретичні положення, результати експериментальних досліджень, висновки, власні ідеї та розробки автора, які дають змогу досягти мети роботи і вирішити поставлені завдання. Усі висновки та практичні рекомендації, винесені на захист, розроблені дисертантом особисто.

11. Апробація результатів дослідження.

Найважливіші ідеї, висновки, рекомендації, отримані в дисертації, оприлюднені на наукових та науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних, всеукраїнських та за міжнародною участю: Scintific Collection IV International Scintific and Practical Conference (France Orléans, 2021), AVIA-2022 :The International Scientific Conference. (Kyiv, 2022), Міжнародна науково-практична конференція (м. Чернігів, 2024.), 16-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові (м. Львів, 2023).

12. Публікації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено в 12 наукових публікаціях, серед них 7 публікації у наукових фахових виданнях України, 1 із них у виданні, проіндексованому в базі даних Scopus, 4 публікації у збірниках матеріалів конференцій.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. **Леусенко Д. В.** Вплив фторвуглецевих сполук на антифрикційні та протизносні властивості трибосполучень *Проблеми тертя та зношування*, 2024. №1(102),84-90. ISSN: 0370-2197. DOI: [10.18372/0370-2197.1\(102\).18432](https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(102).18432)

2. Мельник В.Б., **Леусенко Д.В.**, Мамай Б.М. Оцінка ефективності масляної дії олив з карбон фторидними присадками при нестационарних режимах тертя *Проблеми тертя та зношування*, 2023. No. 4(101). С. 29-41. DOI:

[https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(101\).18077](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(101).18077)

Особистий внесок Мельник В.Б.: постановка завдання дослідження
Особистий внесок Мамай Б.М.: розрахунок за інтегрованим показником ефективності масляної дії.

Особистий внесок Леусенко Д.В.: розроблено програму, визначено області найбільш ефективного використання олив з КФ-присадками.

3. Кіндрачук М.В., Мельник В.Б., **Леусенко Д.В.**, Герасимов В.О. Вибір редукторних олив за фізико-хімічними характеристиками *Проблеми тертя та зношування*, 2023. № 3(100). С. 30-39. DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.3\(100\).17892](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(100).17892).

Особистий внесок Кіндрачук М.В. постановка завдання дослідження

Особистий внесок Мельник В.Б. аналіз мастильних матеріалів за стандартними фізико-хімічними характеристиками.

Особистий внесок Герасимов В.О. проведення порівняльного аналізу ефективності роботи синтетичних редукторних олив.

Особистий внесок Леусенко Д.В. проведення порівняльного аналізу ефективності роботи мінеральних олив.

4. Кіндрачук М.В., Харченко В.В., Гуменюк І. А , **Леусенко Д.В.** Вплив легування металевої матриці на антифрикційні властивості евтектичних покриттів *Проблеми тертя та зношування*, 2023. № 1(98). С. 63-69 DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.1\(98\).17360](https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(98).17360).

Особистий внесок Кіндрачук М.В. постановка завдання дослідження

Особистий внесок Харченко В.В. проведення експериментальних досліджень.

Особистий внесок Гуменюк І. А аналіз існуючих антифрикційних матеріалів, що використовуються у вузлах тертя газоперекачувального агрегату в якості вкладишів підшипників.

Особистий внесок Леусенко Д.В. , запропоновано новий матеріал, який буде дешевшим та матиме кращі експлуатаційні властивості

5. Кіндрачук М.В., Мельник В.Б., **Леусенко Д.В.**, Романьок Ю.В. Оцінка якості послуг калібрувальної лабораторії кваліметричним методом. *Проблеми тертя та зношування*, 2022. № 4(97). С. 67-74. DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(97\).16961](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(97).16961)

Особистий внесок Кіндрачук М.В. постановка завдання дослідження

Особистий внесок Мельник В.Б. запропоновано експертний метод оцінки калібрувальної лабораторії.

Особистий внесок Леусенко Д.В. побудова причинно-наслідкової діаграми

Особистий внесок Романьок Ю.В. визначення основних факторів, що впливають на якість калібрування засобів вимірювальної техніки лабораторії.

6. Кіндрачук М.В., Мельник В.Б., **Леусенко Д.В.** Вплив присадок карбонових кислот на змащувальний шар в локальному контакті зубчастих передач. *Проблеми тертя та зношування*, 2022. № 1(94). С. 83-89. DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.1\(94\).16474](https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(94).16474)

Особистий внесок Кіндрачук М.В. постановка завдання дослідження

Особистий внесок Мельник В.Б. в якості поверхнево-активних речовин запропоновано використовувати карбонові кислоти.

Особистий внесок Леусенко Д.В. проведено дослідження мастильних

шарів.

7. Кіндрачук М.В., **Леусенко Д.В.**, Мельник В.Б., Василик М.В., Харченко В.В. Технології поверхневого зміцнення зубчастих зачеплень та підшипників в масляному середовищі з присадкою фторованого графіту. *Проблеми тертя та зношування*, 2024. No 3(104), С. 23-34.

DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.3\(104\).18975](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(104).18975)

Особистий внесок Кіндрачук М.В. запропоновано конструкцію стендів на базі токарного верстату.

Особистий внесок Мельник В.Б. аналіз результатів

Особистий внесок **Леусенко Д.В.** запропоновано методика поверхневого зміцнення зубчастих коліс.

Особистий внесок Василик М.В. запропоновано методика поверхневого зміцнення підшипників кочення.

Особистий внесок Харченко В.В. запропоновано рецептуру змащувального середовища з карбон фторидними присадками.

Статті в іноземних виданнях:

8. Kindrachuk M.V., Charchenko V.V., Dukhota O.I., Khumeniuk I.A., **Leusenko D.V.** Features of the structure and properties of surface lauers of babbitt coatings after boundary mode of friction. ISSN 1027-5495. Functional Materials, 30, No 3(2023), P. 1-8. (SCOPUS, Q4) DOI: <https://doi.org/10.15407/fm30.03/1>

Особистий внесок Leusenko D.V. досліджено мікроструктуру та властивості поверхневих шарів поверхонь тертя бабітового покриття

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

9. Мельник В.Б., Мікосянчик О.О., Кіндрачук М.В., **Леусенко Д.В.** Влияние присадок карбоновых кислот на гидродинамический смазочный слой в локальном контакте зубчатых передач. Current issues and prospects for the development of scientific research: Scintific Collection IV International Scintific and Practical Conference (December 07-08, 2021) Orléans (France) 2021. Orléans of the Desember 2021. № 90. p.465-474

10. **Леусенко Д.В.**, Гловин М.А., Мельник В.Б. Змащувальна дія авіаційних мастильних матеріалів з присадками та дослідження їх впливу на антифрикційні, протизносні та протизадирні властивості пар тертя з локальним контактом. AVIA-2022 : The International Scientific Conference. (Kyiv, 28-30, September 2022), Kyiv, 2022,p.17-20.

<https://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/Congress2022/paper/viewFile/8736/6970>

11. Мельник В.Б., **Леусенко Д.В.**, Титаренко В.В. Підвищення зносостійкості вузлів тертя аерокосмічної техніки утворенням на поверхнях тертя фторвмісних нано - мікро - розмірних антифрикційних протизносних структур. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2024) : матеріали тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.) : у 2 т. / Національний університет

«Чернігівська політехніка» [та ін.]– Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. Т. 1. 108-110 с. www.conference-chernihiv-politechnik.com.

12. Мирослав Кіндрачук, **Дар'я Леусенко** Визначення зносостійкості та втомної міцності деталей машин деякими стандартними методами оцінювання показників якості мастильних матеріалів. 16-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові (м. Львів, 18 – 19 травня 2023 р.) : Матеріали симпозіуму. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2023. 60-61с. <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/12506/1/%D0%A1%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D1%96%D1%83%D0%BC%20%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B5%D1%85.pdf>.

13. Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 187 сторінки, у тому числі основного тексту дисертації 136 сторінок, 86 рисунків, 16 таблиць, 3 додатки і список використаних джерел із 138 найменувань.

14. Характеристика особистості здобувача. Під час підготовки дисертаційної роботи Леусенко Дар'я Володимирівна, проявила себе як творчий дослідник і науковець, яка здатна самостійно, на високому науково-методичному рівні вирішувати наукові та практичні завдання. Вона повною мірою володіє сучасними методами досліджень та аналізу їх результатів, має належний рівень теоретичної та практичної підготовки.

15. Оцінка мови та стилю дисертації. Текст дисертації викладений грамотною, доступною мовою, зміст характеризується логічним та послідовним характером і містить необхідні узагальнення.

16. Рецензенти рекомендують: відповідно до пп. 15, 16 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 року № 44, *пропонується такий склад разової ради:*

Голова ради:

Носко Павло Леонідович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії поверхні КАІ.

Рецензенти:

Мнацаканов Рудольф Георгійович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден КАІ.

Корнієнко Анатолій Олександрович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Офіційні опоненти:

Савчук Анатолій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства Національного транспортного університету.

Шимчук Сергій Петрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри авіа- та ракетобудування Луцького національного технічного університету.

Усі члени разової спеціалізованої вченої ради не мають реальний чи потенційний конфлікт інтересів щодо здобувачки Леусенко Дар'ї Володимирівни (зокрема, є її близькою особою) та/або її наукового керівника.

У результаті попередньої експертизи дисертації Леусенко Дар'ї Володимирівни і повноти публікації основних результатів дослідження.

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Леусенко Дар'ї Володимирівни на тему: «Фізико-хімічні процеси підвищення змащувальної дії мастильних матеріалів з багатофункціональними присадками в умовах роботи зубчастих передач».

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Леусенко Дар'ї Володимирівни відповідає спеціальності 131 «Прикладна механіка» та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283), вимогам пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

3. Рекомендувати дисертаційну роботу «Фізико-хімічні процеси підвищення змащувальної дії мастильних матеріалів з багатофункціональними присадками в умовах роботи зубчастих передач», подану Леусенко Дар'єю Володимирівною на здобуття ступеня доктора філософії із галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

4. Рекомендувати Вченій раді КАІ клопотати про призначення:

Головою разової спеціалізованої вченої ради:

Носка Павла Леонідовича, доктора технічних наук, професора, професора кафедри прикладної механіки та інженерії поверхні КАІ.

Рецензентами:

Мнацаканова Рудольфа Георгійовича, доктора технічних наук, професора, професора кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден КАІ.

Корнієнка Анатолія Олександровича, кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника, доцента кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Офіційними опонентами:

Савчука Анатолія Миколайовича, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства Національного транспортного університету.

Шимчука Сергія Петровича, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри авіа- та ракетобудування Луцького національного технічного університету.

Результати голосування присутніх на засіданні докторів наук та кандидатів

наук: – всього: “за” – 12, “проти” – немає, “утрималося” – немає; в тому числі за профілем поданої на розгляд дисертації: “за” – 12, У тому числі 4 доктори наук зі спеціальності та 8 кандидатів наук зі спеціальності.

Головуючий на засіданні:

професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ, д.т.н., професор

Павло НОСКО

Секретар засідання:

доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ, к.т.н., доцент

Світлана БОГДАН

ПОГОДЖЕНО:

проректор з наукових досліджень та трансферу технологій КАІ, д.т.н., професор

Сергій ГНАТЮК