ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Національного авіаційного університету

_____ Максим ЛУЦЬКИЙ

“____” _____ 2023 року

ВИСНОВОК
Національного авіаційного університету (далі – НАУ) про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Токарука Віталія Володимировича на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 - тертя та зношування в машинах на тему: “Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям”, затвердженої (в остаточній редакції) на засіданні Вченої ради Аерокосмічного факультету “15” березня 2023 року, протокол № 3.

ВИТЯГ
із протоколу № 1 засідання науково-технічного семінару
зі спеціальності 05.02.04 - тертя та зношування в машинах
Національного авіаційного унівеситету від 16 березня 2023 року

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники НАУ

Дворук В.І., д.т.н., професор, професор загальної та прикладної фізики;

Дмитрієв С.О., д.т.н., професор, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Духота О.І., д.т.н., с.н.с, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Кіндрачук М.В., д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів;

Марчук В.Є., д.т.н., професор, професор кафедри логістики;

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

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

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

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

Корнієнко А. О., к.т.н., с.н.с., доцент кафедри прикладної механіки та

інженерії матеріалів;

Лабунець В.Ф., к.т.н., доцент, старший лаборант кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів

Мельник В.Б., к.т.н., доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів;

Молодцов М.Ф., к.т.н., с.н.с, доцент, кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Попов О.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Пучков Ю.П., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Ругайн О.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Салімов Р.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Свирид М.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри конструкції літальних апаратів;

Сидоренко О.Ю., к.т.н., доцент, доцент кафедри технології аеропортів;

Сікорський Е.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Смірнов Ю.І., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Туз М.Д., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

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

Бородій В.М., старший викладач кафедри аеродинаміки та безпеки польотів літальних апаратів

Євсюков Є.Ю., старший викладач кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Якобчук О.Є., старший викладач кафедри конструкції літальних апаратів;

Попов Д.В., асистент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден.

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники з інших установ:

Уманський О.П., д.т.н., професор, керівник відділу матеріалознавства та інженерії високостійких поверхневих шарів, Інститут проблем матеріалознавства ім. Францевича НАН України.

Слухали:

Доповідь здобувача кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден НАУ Токарука Віталія Володимировича на тему "Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням

поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям", поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 - тертя та зношування в машинах.

Тему дисертаційного дослідження "Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям" в остаточній редакції затверджено на засіданні Вченої ради Аерокосмічного факультету "15" березня 2023 року, протокол №3.

Науковий керівник – Мікосянчик Оксана Олександрівна, д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Доповідь здобувача

Шановний голово! Шановні учасники фахового семінару!

На ваш розгляд виносяться результати дисертаційного дослідження на тему: "Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям".

Доповідач обґрунтував актуальність обраної теми, визначив мету, завдання, методи дослідження, охарактеризував об'єкт та предмет дослідження.

Метою роботи є підвищення протизношувальних властивостей та питомої маслоємності дюралюмінію Д16 формуванням дискретних електроіскрових покриттів з ефективними мікрогеометричними та міцністними характеристиками.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались наступні завдання: визначити оптимальну щільність нанесення дискретних ЕІП з урахуванням їх міцністних, геометричних, реологічних та триботехнічних показників; провести комплексну оцінку напружено-деформованого стану ЕІП – основа з застосуванням методів скінченно-елементного аналізу в сучасних програмних комплексах Nastran та SolidWorks; дослідити умови переходу трибосистеми сталь – дюралюміній Д16 до катастрофічного зношування при ступеневому підвищенні навантаження, визначити діапазон роботоздатного стану ЕІП; визначити закономірності структурної пристосованості трибосистеми сталь – дюралюміній Д16 при формуванні зносостійких дисипативних структур в процесі тертя; визначити механізми впливу механо-деструкційних процесів в поверхневих шарах металу при терті на інтенсивність зношування трибосистем сталь – дюралюміній Д16; провести статистичну оцінку впливу еквівалентних напружень в ЕІП та в матеріалі основи, температури, сигналів АЕ та триботехнічних параметрів на знос немодифікованого / модифікованого електроіскровим покриттям дюралюмінію Д16.

Об'єктом дослідження являлись механо-фізико-хімічні процеси трибоконтакту сталь – немодифікований / модифікований електроіскровим покриттям дюралюміній Д16. Предметом дослідження були закономірності впливу мікрогеометричних та міцністних характеристик дискретних електроісрових покриттів на зносостійкість дюралюмінію Д16.

В дисертаційній роботі застосовані наступні методи дослідження: оцінка напружено-деформованого стану проводилась з застосуванням методів скінченно-елементного аналізу в програмних комплексах Nastran та SolidWorks. У роботі застосовувались трибологічні випробування; реєстрація та обробка сигналів акустичної емісії; вимірювання твердості проводилось за методами Роквела та Брінелля, мікротвердості та склерометрування – на приладі «Мікрон-гамма» методом безперервного вдавлювання індентора; параметри профілю мікрорельєфу визначали за допомогою профілометру Mitutoyo Surftest SJ-201P; металофізичні дослідження проводились на мікроскопі-інтерферометрі Лінника МІІ-4, методом растрової електронної мікроскопії на мікроскопі – мікроаналізаторі CamScan 4DV; визначення хімічного складу поверхонь тертя проводилося за методикою кількісного визначення вмісту хімічних елементів (ZAF 4/FLS) та за методикою напівкількісного розподілу елементів за площею (програма "Digimap"); використовувалась статистична обробка експериментальних даних із застосуванням регресійного аналізу, при розрахунку використовувався пакет прикладних програм.

Доповідач виклав основні наукові положення та висновки, що виносяться на захист, вказав науково-практичну значущість роботи, зазначив про впровадження результатів дослідження.

Запитання до здобувача:

1. **Дворук В.І.,** д.т.н., професор, професор загальної та прикладної фізики НАУ.

Запитання до здобувача: Чим обумовлене ваше дослідження?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Моє дослідження обумовлене розширенням сфери практичного використання алюмінієвих сплавів триботехнічного призначення.

Запитання до здобувача: Де використовується пара тертя 30ХГСА-Д16?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Пара тертя сталь - алюмінієвий сплав широко використовується в конструкції повітряних суден та авіадвигунів. У моєму випадку пара тертя 30ХГСА-Д16 є модельною для проведення трибологічних досліджень.

Запитання до здобувача: Що викликало необхідність проведення цього дослідження та застосування такого дорого матеріалу як ВК8?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Недостатня зносостійкість алюмінієвих сплавів.

Запитання до здобувача: Що ви мали на увазі під словом «модифікація» у роботі?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Термін «модифікація» застосовується в металургії. Також термін «модифікація» використовується у наковому напрямі інженерія поверхні. Сам термін означає зміну властивостей поверхневого шару. У роботі властивості поверхневого шару

дюралімінію Д16 удосконалювали шляхом нанесення електроіскрового покриття та проведенням поверхневопластичної деформації.

Запитання до здобувача: Який Ваш внесок у модернізацію удосконаленої машини тертя?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Удосконалену машину тертя я не модернізував, а лише використовував для проведення трибологічних дослідів.

Запитання до здобувача: Чим ви можете пояснити невідповідність емпіричної формули, яка предствлена на слайді 15 графіку на слайді 12?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Емпірична формула, яка предствлена на Слайді 15, відповідає ІІ-му проміжку графіку на слайді 12. У роботі експериментальні дослідження проводилися лише для ІІ-го проміжку графіку слайду 12, що відповідає щільності електроіскрового покриття 55-65%. Сама емпірична формула отримана за експерементальними даними і відповідає графіку «Взаємозв'язок параметру усередненої потужності акустичної емісії та вагового зносу», що зображений на слайді 15.

Запитання до здобувача: Чим обумовлена заміна параметру «момент/коефіцієнт тертя», що успішно використовується для оцінки задиру, на параметр «усереднена потужність акустичної емісії»?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. У роботі для дослідження процесів тертя використовувалися обидва параметри «усереднена потужність акустичної емісії» та «коефіцієнт/момент тертя». Метод акустичної емісії відрізняється від традиційних методів досліджень зносостійкості своєю високою чутливістю. Канал реєстрції сигналів акустичної ємісії забезмечує отримання інформації про процеси, які відбуваються у зоні тертя, кожні 20 мс.

2. **Ругайн О.В.,** к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден.

Запитання до здобувача: Чи є у вас патент на дослідну установку?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Патенту на дослідну установку немає. Є патент на пристрій для вимірювання величини лінійного зносу без зупинки машини, в якому використано у якості вимірювальної головки датчик кута-енкодер, що дозволяє здійснювати перетворення лінійного переміщення важеля в кутове переміщення енкодеру при вимірюванні лінійного зносу шляхом перетворення кута повороту валу в електричні сигнали, які за відповідним інтерфейсом надходять до персонального комп'ютера та за розробленою програмою перераховуються в лінійний знос.

Запитання до здобувача: Чи має метрологічну атестацію обладнання для проведення дослідів?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Дослідження проводили на експерементальному обладананні у лабораторії кафедри «Інформаційно-вимірювальних систем». Обладанння лабораторії під час проведення експеременту проходило планові метрологічні повірки.

3. **Уманський О.П.**, д.т.н., професор, керівник відділу матеріалознавства та інженерії високостійких поверхневих шарів, Інститут проблем матеріалознавства ім. Францевича НАН України.

Запитання до здобувача: Чому ви обрали сплав ВК8?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. На основі літературних даних стосовно досліджень провідних вчених про зносостійкі властивості даного сплаву, на основі досліджень д.т.н., професора Ляшенка Б.А. про переваги даного сплаву для алюмінію обрав сплав ВК8, тому що він характеризується високою зносостійкістю.

Запитання до здобувача: Чому ви обрали такий матеріал як мідь?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Мідь обрав через пластичність даного металу, високі протизношувальні властивості та хімічну активність. За рахунок високої хімічної активності міді на поверхні зразків під час тертя утворюються дисипативні структури, які підвищують протизношувальні властивості та розширюють швидкісно-навантажувальний діапазон працездатності комбінованого покриття.

Запитання до здобувача: Відповідно до методики, поверхневе пластичне деформування Ви робили до чи після нанесення електроіскрового покриття?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Відповідно до методики, поверхневе пластичне деформування проводили після нанесення електроіскрового покриття та перед механічною обробкою.

Запитання до здобувача: З якою метою Ви проводили поверхневе пластичне деформування?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Поверхневе пластичне деформування проводив для зменшення вихідної шорсткості електроіскрових покриттів та зміни величини та знаку залишкових напружень.

Запитання до здобувача: Існують методи підвищення зносостійкості такі як гартування, термобробка, наклеп, які також підвищують напруження у поверхневих шарах. Якщо я Вас вірно зрозумів, то для електроіскрового покриття Ви пропонуєте проведення поверхневого пластичного деформування для зменшення напруження та підвищення зносостійкості?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Так, при поверхневому пластичному деформуванні формуються в покритті залишкові напруження стиску, що підвищує зносостійкість.

Запитання до здобувача: Яким чином Ви досягаєте щільності покриття 65% або 55%?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Щільність покриття 65% або 55% досягається за рахунок зміни режимів та кількості проходів електродом по поверхні Д16.

Запитання до здобувача: Поясніть графік «градієнт механічних властивостей по глибині» на слайді 14?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Графік ілюструє як формується градієнт механічних властивостей по глибині покриття –

дюралюміній, наявність дискретного покриття забезпечує локалізацією деформаційних процесів в комбінованому покритті.

Запитання до здобувача: Поясніть зображення на фото внизу слайду 14?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Суцільність комбінованого покриття ВК8+Cu зростає в 2 рази, в порівнянні з покриттям ВК8, за рахунок заповнення несуцільностей твердого покриття ВК8 міддю, що сприяє локалізації нормальних та тангенціальних напружень в м'якій складовій комбінованого покриття.

4. **Марчук В.Є.**, д.т.н., професор, професор кафедри логістики.

Запитання до здобувача: В актуальності ви пропонуєте використовувати алюмінієвий сплав Д16 для заміни чорних металів, а згодом пропонуєти замінювати на дюралюміній Д16 і кольровові метали. Так які метали пропонуєте замінювати на дюралюміній Д16?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. На дюралюміній Д16 з дискретним електроіскрових покриттям можна замінювати як чорні, так і кольорові метали.

Запитання до здобувача: На яких деталях застосовують запропоноване покриття?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Пара тертя сталь-алюмінієвий сплав використовується в конструкціях повітряних суден та авіадвигунів. В свою чергу, чи не основним методом відновлення або покращення протизносних властивостей цієї пари тертя є метод електроіскрового легування.

Запитання до здобувача: У якому навантажувально-швидкісному діапазоні працюють деталі?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Умови проведення трибологічних дослідженнь на зносостійкість наступні: швидкість обертання приводного валу 400 $хв^{-1}$; навантаження від 100 до 1200 Н; час випробування до 4 годин.

Запитання до здобувача: Чому до складу рівняння регресії у якості незалежних зміних увійшли лише три параметри?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. В первинній кореляційній матриці було сім незалежних змінних. В подальшому, для збільшення коефіцієнту множинної кореляції, обрано лише найбільш значимі змінні. Відповідно до проведеного статистичного аналізу, проаналізовано кореляційну матрицю з коефіцієнтом множинної кореляції 0,866 та одержано емпіричне рівняння множинної регресії впливу температури в фрикційному контакті, усередненої потужності сигналів АЕ та зміни мікротвердості поверхні при напрацюванні на знос неармованого/армованого електроіскровим покриттям ВК8+Cu дюралюмінію Д16.

Запитання до здобувача: У презентації представлено незначну кількість фрактографічних досліджень.

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Фрактографічні дослідження більш ширше представлені у дисертаційній роботі.

5. **Лабунець В.Ф.**, к.т.н., доцент, старший лаборант кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання до здобувача: На теперішній час існує тринадцять видів матералів на основі алюмінію. Чому Ви серед усіх матеріалів обрали дюралюміній Д16?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. В Україні досі використовується стара техніка, в конструкції якої широко використовується дюралюміній Д16. Ремонтувати таку техніку необхідно з застосуванням тих матеріалів, що вказані у конструкторській документації та керівництвах по ремонту.

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

Запитання до здобувача: Поясніть графік на слайді 12, а саме діапазон працездатного стану електроіскрового покриття залежно від щільності.

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Кожен діапазон щільності електроіскрового покриття можна представити узагальненням прояву наступних станів:

I – підвищений напружено-деформований стан елементів покриття за рахунок зниження фактичної площі контакту, що обумовлює підвищений знос та інтенсифікацію АЕ;

II – режим ефективної працездатності покриття, який забезпечується зниженням рівня максимальних напружень та формуванням оптимальної геометрії поверхні;

III – зростання напружено-деформованого стану покриття та основи за рахунок зменшення відстані між одиничними елементами покриття, що призводить до створення локальних концентраторів напружень та зростання інтенсивності зношування і АЕ.

7. **Хімко А.М.**, к.т.н., доцент, доцент кафедри

Запитання до здобувача: На слайді 18 представлені емпіричні залежності інтенсивності зношування, які Ви отримали з аналізу експериментальних даних. Чи проводили Ви порівняння експериментальних даних з результатами теоретичних розрахунків?

Відповідь здобувача: Дякую за запитання. Так, під час порівняння встановлена розбіжність між експериментальними значеннями інтенсивності зношування досліджуваних трибосистем та розрахунковими теоретичними значеннями, яка складає 5…15%.

ВИСТУПИ:

Уманський О.П., д.т.н., професор, керівник відділу матеріалознавства та інженерії високостійких поверхневих шарів, Інститут проблем матеріалознавства ім. Францевича НАН України (рецензент роботи).

Рецензент зазначив, що пропозиції та зауваження, висловлені при попередньому розгляді, дисертантом враховані. Робота є актуальною,

комплексною, структурованою, містить актуальні наукові дослідження, є багато актів впровадження, що підтверджує практичну значимість роботи. Представлена робота відповідає встановленим вимогам. Підтримую роботу і бажаю успіхів дисертанту. Пропоную рекомендувати подану дисертаційну роботу до розгляду в спеціалізовану вчену раду Д26.062.06 Національного авіаційного університету

Духота О.І., д.т.н., с.н.с, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден (рецензент роботи).

Рецензент відмітив, що у роботі вирішена важлива і актуальна науково-технічна проблема підвищення триботехнічних і міцністних характеристик алюмінієвих сплавів та розширення навантажувально-швидкістного діапазону їх роботоздатного стану. Робота має наукову новизну та практичну значущість. Рецензент відмітив, що він підтримує роботу. Пропоную рекомендувати подану дисертаційну роботу до розгляду в спеціалізовану вчену раду Д26.062.06 Національного авіаційного університету.

Лабунець В.Ф., к.т.н., доцент, старший лаборант кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів

Від роботи маю лише позитивні враження. Унікальність роботи полягає в тому, що здобувач вирішив наносити електроіскрове покриття на алюмінієвий сплав. Актуальність і новизна у роботі присутня. В цілому, робота відповідає вимогам, які висуває до дисертаційних робіт ДАК МОН України. Пропоную рекомендувати подану дисертаційну роботу до розгляду в спеціалізовану вчену раду Д26.062.06 Національного авіаційного університету.

Марчук В.Є., д.т.н., професор, професор кафедри логістики.

Рекомендую доповнити новизну шляхом порівняння одержаних в роботі результатів з тими результатами, які були отримані раніше. Вважаю, що цю роботу можна рекомендувати до захисту за умови усунення всіх зауважень. Основні результати достатньо повно опубліковані в фахових виданнях і доповідалися на науково-технічних конференціях і конгресах. Загальна характеристика дисертації – позитивна. Пропоную рекомендувати подану дисертаційну роботу до розгляду в спеціалізовану вчену раду Д26.062.06 Національного авіаційного університету.

Дворук В.І., д.т.н., професор, професор загальної та прикладної фізики.

Представлена дисертаційна робота викликала жваву дискусію, що свідчить про те, що робота цікава та актуальна. Але разом з тим у роботі є деякі недоопрацювання. Необхідно більш ширше розкрити позитивний ефект самого покриття. Бажаю здобувачу дуже уважно проаналізував задані запитання та зауваження і по можливості їх виправити. Вважаю, що цю роботу можна рекомендувати до захисту за умови усунення всіх зауважень. Пропоную рекомендувати подану дисертаційну роботу до розгляду в спеціалізовану вчену раду Д26.062.06 Національного авіаційного університету після усунення зауважень.

Висновок наукового керівника.

Мікосянчик О.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної

механіки та інженерії матеріалів.

Представлена до захисту дисертаційна робота Токарука В.В. є підсумком наукового дослідження, в якому вирішена науково-технічна проблема підвищення триботехнічних і міцністних характеристик алюмінієвих сплавів та розширення навантажувально-швидкістного діапазону їх роботоздатного стану. Тема роботи актуальна, оскільки направлена на встановлення взаємозв'язку параметрів субструктури та напружено-деформованого стану армованого шару з його триботехнічними характеристикам.

Дисертаційна робота виконана Токаруком В.В. самостійно, при цьому він проявив наукову творчість у формулюванні і вирішенні наукових задач, здатність проводити аналіз наукової інформації, вибирати методи дослідження. Також треба відзначити цілеспрямованість, наполегливість, працьовитість та здатність дисертанта до вирішення складних наукових задач.

В роботі встановлено механізми підвищення зносостійкості в 2 рази в умовах ковзання та збільшення роботоздатного стану до 1200 Н дюралюмінію Д16, армованого комбінованим електроіскровим покриттям зі сплаву ВК8 та міді з наступною поверхневопластичною деформацією, які полягають в дискретності покриття щільністю 55-65 %, реалізацією позитивного градієнту зміни механічних властивостей по глибині та домінуванні еластогідродинамічного або змішаного режиму мащення.

В роботі вперше одержано емпіричні залежності інтенсивності зношування трибосистем сталь – дюралюміній Д16 (неармований / армований ЕІП) з урахуванням антифрикційних характеристик, здатності матеріалу поглинати механічну енергію процесів деформації або руйнування та інтенсивності механо-деструкційних процесів в поверхневих шарах металу при терті, за якими можливо спрогнозувати ефективність створених зносостійких покриттів на етапі лабораторних досліджень.

Слід зазначити, що в роботі набула подальшого розвитку методика оцінки переходу трибосистеми від нормального до катастрофічного зношування на основі аналізу сигналів акустичної емісії.

Здобувачем визначено механізм утворення зносостійких дисипативних структур для трибосистем з комбінованим дискретним електроіскровим покриттям сплаву ВК8 та міді.

За темою дисертації опубліковано 32 наукові праці, у тому числі: 1 колективна монографія (індексація в Scopus); 20 статей у фахових виданнях переліку категорії В ДАК МОН України; 2 статті у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз індексація в Scopus; 8 матеріалів та тез доповідей на науково-технічних конференціях; 1 патент.

Основні теоретичні положення, результати та висновки наукового дослідження доповідались автором, обговорювались та отримали позитивну оцінку на наукових семінарах кафедр технологій виробництва та відновлення авіаційної техніки, підтримання льотної придатності повітряних суден та міжнародних наукових конференціях.

Токарук В.В. під час виконання досліджень проявив себе як висококваліфікований спеціаліст, здатний вирішувати наукові задачі з використанням сучасного наукового апарату і сучасних методів дослідження.

Вважаю, що дисертаційна робота на тему «Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям» є завершеним науковим дослідженням, відповідає чинним вимогам щодо присудження наукових ступенів, а її автор Токарук В.В. заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Науковий керівник запропонував затвердити позитивний висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів зазначеної дисертації та рекомендувати її до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Заключне слово здобувача: Шановний головуючий, шановні присутні, дякуємо Вам за увагу до нашого дисертаційного дослідження! Дякую за запитання, висловлені побажання та зауваження, які обов'язково будуть враховані.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації на тему «Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальностю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

Актуальність теми дослідження та її зв'язок із планами науково-дослідних робіт.

Актуальність теми. Підвищення надійності, економічності і продуктивності деталей машин, обладнання та виробів машинобудування, зниження їх питомої матеріаломісткості і енергоспоживання досягається, насамперед, застосуванням матеріалів і прогресивних зміцнюючих технологій. Перспективним напрямком для зниження питомої матеріаломісткості виробів являється застосування алюмінію і його сплавів. Однак, розширенню сфери практичного використання алюмінієвих сплавів триботехнічного призначення перешкоджає невідповідність високим технологічним вимогам таких його експлуатаційних характеристик, як недостатня твердість і низька зносостійкість. Ефективним способом підвищення механічних характеристик алюмінієвих сплавів є їх поверхневе зміцнення.

Одним з найбільш раціональних шляхів, що дозволяє цілеспрямовано змінювати напружено-деформований стан в поверхневому шарі, деформаційно-силові параметри контактних областей і природу контактної взаємодії тіл, є метод електроіскрового легування (ЕІЛ).

Враховуючи недоліки суцільних електроіскрових покриттів (ЕІП), що полягають у когезійному розтріскуванні та адгезійному відшаруванні, перспективним напрямком поліпшення якості ЕІП є застосування технології зміцнення та відновлення шляхом нанесення покриттів дискретної структури.

Для зменшення вихідної шорсткості ЕІП та зміни величини і знака залишкових напружень доцільно застосування технології ЕІЛ спільно з поверхневою пластичною деформацією (ППД), що дозволяє сформувати поверхневий шар з високою твердістю, зносостійкістю, низькою шорсткістю і підвищеною втомною міцністю. Вивчення особливостей формування модифікованого шару на поверхнях деталей при комбінованій технології ЕІЛ та ППД, встановлення взаємозв'язку параметрів субструктури та напружено-деформованого стану модифікованого шару з його триботехнічними характеристиками є актуальним завданням у плані розробки технологічних рекомендацій щодо зміцнення деталей з метою підвищення міжремонтного ресурсу вузлів та агрегатів.

Важливим напрямком у вивченні якості створюваних електроіскрових покриттів є встановлення критеріїв, що визначають діапазон їх роботоздатного стану. За характером зміни таких основних триботехнічних показників як коефіцієнт тертя, температура в зоні фрикційного контакту, товщина мастильного шару, питома робота тертя не завжди можливо передбачити та спрогнозувати настання стадії катастрофічного зносу. До інформаційно-аналітичних методів визначення діапазону роботоздатності триботехнічної пари можна віднести метод акустичної емісії, який характеризується високою чутливістю до пружно-пластичних деформацій у фрикційному контакті.

Таким чином, управління структуротворенням та механічними характеристиками поверхневих шарів алюмінієвих сплавів за рахунок формування зносостійких електроіскрових покриттів дозволить вирішити науково-технічну проблему підвищення триботехнічних і міцністних характеристик алюмінієвих сплавів та розширити навантажувально-швидкістний діапазон їх роботоздатного стану.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з планами науково-дослідної роботи Національного авіаційного університету. Автор був співвиконавцем держбюджетних тем. Дисертаційні дослідження проводились в рамках науково-дослідної роботи 88/07.02.02. «Підвищення працездатності конструкцій з авіаційних матеріалів шляхом поверхневого зміцнення та відновлення деталей трибосистем». Автором розроблено методики діагностування трибопар авіаційних матеріалів за допомогою акустичних методів неруйнівного контролю.

Дисертаційні дослідження проводились в рамках науково-дослідної роботи 110/07.02.02. «Технологічні методи підвищення працездатності елементів авіаційних трибомеханічних систем». Автором проведенні досліджень кінетики задиростійкості і перехідних процесів при зносі електроіскрових покриттів

Дисертаційні дослідження проводились в рамках науково-дослідної роботи 48-2022/07.06 «Підвищення ресурсу відповідальних вузлів авіаційної техніки та удосконалення технічного обслуговування повітряних суден». Автором визначені закономірності зносостійкості дисипативних структур дискретними електроіскровими покриттями.

Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації.

Науковим завданням є підвищення протизношувальних властивостей та питомої маслоємності дюралюмінію Д16 формуванням дискретних електроіскрових покриттів з ефективними мікрогеометричними та міцністними характеристиками.

У результаті дослідження:

1. Встановлено механізми підвищення зносостійкості в 2 рази в умовах ковзання та збільшення роботоздатного стану до 1200 Н дюралюмінію Д16, армованого комбінованим електроіскровим покриттям зі сплаву ВК8 та міді з наступною поверхневопластичною деформацією, які полягають в дискретності покриття щільністю 55-65 %, реалізацією позитивного градієнту зміни механічних властивостей по глибині та домінуванні еластогідродинамічного або змішаного режиму мащення.

2. Вперше одержано емпіричні залежності інтенсивності зношування трибосистем сталь – дюралюміній Д16 (неармований / армований ЕІП) з урахуванням антифрикційних характеристик, здатності матеріалу поглинати механічну енергію процесів деформації або руйнування та інтенсивності механо-деструкційних процесів в поверхневих шарах металу при терті, за якими можливо спрогнозувати ефективність створених зносостійких покриттів на етапі лабораторних досліджень.

3. Набула подальшого розвитку теорія оцінки переходу трибосистеми від нормального до катастрофічного зношування на основі аналізу сигналів акустичної емісії: передумовами настання катастрофічного зношування є зростання щільності, усередненої потужності та збільшення величини розкиду сигналів акустичної емісії, що спричинено підвищенням енергії руйнування до $(0.88....1.6)\cdot 10^{-5}$ Дж, інтенсифікацією пластичних деформацій, мікросхоплюванням пар тертя.

4. Визначено механізм утворення зносостійких дисипативних структур для трибосистем з комбінованим дискретним електроіскровим покриттям сплаву ВК8 та міді, який полягає в формуванні хімічномодифікованих граничних шарів, насиченні поверхневих шарів пар тертя активними елементами сірки, фосфору та кисню в результаті активації механохімічних процесів окислення при терті та наявності резерву мастильного матеріалу внаслідок дискретності покриття.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій, які захищаються.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані автором у дисертаційній роботі відповідають вимогам до такого виду досліджень, ґрунтуються на узагальненні поглядів та дослідженні ідей провідних

вітчизняних і зарубіжних учених, використанні системи загальнонаукових і спеціальних методів. У роботі використано значну кількість джерел інформації, наведено дані про апробацію результатів на науково-практичних конференціях та впровадження розробок автора у практичну діяльність пов'язану з підвищення зносостійкості алюмінієвих сплавів. У цілому наукові результати, отримані в дисертації, є достовірними, науково обґрунтованими та доказовими.

Достовірність отриманих наукових результатів роботи забезпечується коректним застосуванням математичного апарату для вирішення поставлених задач та підтверджується проведеним статистичним аналізом отриманих експериментальних даних з застосуванням методів математичної статистики.

Наукове значення роботи.

Основні результати дослідження достатньою мірою обґрунтовані. Їхня наукова значимість і достовірність не викликає сумнівів, оскільки вони отримані в результаті аналітичної роботи та особистої практики здобувача. Автором чітко окреслені та лаконічно побудовані мета та завдання дослідження, обґрунтовано методику дослідження. В результаті роботи запропоновано дискретне електроіскрове покритя на дюралюмінію Д16 з ефективними мікрогеометричними та міцністними характеристиками для підвищення протизношувальних властивостей та питомої маслоємності. Висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на дослідженнях автора, що проведені з використанням фундаментальних положень матеріалознавства, трибології, фізичної хімії, фізико-хімічних основ електроіскрового легування, реолого-кінетичної концепції зносостійкості, теорії самоорганізації та математичної статистики.

Практичне значення та використання результатів роботи.

1. Розроблено спосіб підвищення зносостійкості алюмінієвого сплаву Д16 шляхом його поверхневого зміцнення функціональними дискретними покриттями з застосуванням енергозберігаючих технологій (акт про реалізацію результатів наукових досліджень на ТОВ «АВАНТІ Груп» від 23.01.2023 року, акт про реалізацію наукових досліджень на ТОВ «ПОДОЛЛЯ-АГРО» від 23.01.2023 року).

2. Розроблена методика оцінки граничної роботоздатності дискретних електроіскрових покриттів на основі аналізу сигналів акустичної емісії залежно від навантажувально-швидкісних режимів (акт про впровадження у навчальний процес Національного аваційного університету від 16.01.2023 року).

3. Розроблено комплекс технологічно–експериментальних методів дослідження триботехнічних властивостей матеріалів з дискретними комбінованими електроіскровими покриттями для оцінки напружено-деформованого стану покриття та основи, оптимізації дискретності покриття, розподілу контактних навантажень, формуванні оптимальної мікрогеометрії поверхні (акт впровадження та реалізації наукових досліджень в Інституті проблем міцності імені І.С.Писаренка НАН України від 22.12.2022 року).

4. Розроблено і впроваджено в практику експериментальних випробувань

пристрій для вимірювання величини лінійного зносу без зупинки машини, в якому використано у якості вимірювальної головки датчик кута-енкодер, що дозволяє здійснювати перетворення лінійного переміщення важеля в кутове переміщення енкодеру при вимірюванні лінійного зносу шляхом перетворення кута повороту валу в електричні сигнали, які за відповідним інтерфейсом надходять до персонального комп'ютера та за розробленою програмою перераховуються в лінійний знос. (пат. № 62928, опубл. 26.09.2011, бюл. № 18)

Розроблені методики і способи, комп'ютеризована акусто-емісійна система для дослідження та діагностики трибосистем, програмно-математичне забезпечення, оцінка напружено-деформованого стану ЕІП – основа з застосуванням методів скінченно-елементного аналізу в програмних комплексах Nastran та SolidWorks використовуються при проведенні наукових досліджень спільно з Інститутом проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України (м. Київ), ТОВ «ПОДОЛЯ-АГРО» під час ремонту та модернізації промислового маслопресу ПМ 450 (Вінницька обл.), ТОВ «АВАНТІ ГРУП» при ремонті та відновленні турбокомпресора двигунів внутрішнього згоряння автомобільної техніки (м. Київ) та в навчальному процесі в Національному авіаційному університеті (м. Київ).

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.

Дисертація Токарука Віталія Володимировича є самостійною науковою працею, в якій наведено теоретичні положення і висновки, власні ідеї та розробки автора, які дають змогу вирішити поставлені завдання. Усі висновки та практичні рекомендації, винесені на захист, розроблені дисертантом особисто.

Найважливіші ідеї, висновки, рекомендації, отримані в дисертації, оприлюднені на наукових та науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних, всеукраїнських та за міжнародною участю а саме: Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми машинознавства» (Київ, 2008, 2019), Міжнародній науково-технічній конференції Сучасні проблеми трибології (Київ, 2010), XIII, XIV Міжнародних науково-технічних конференціях „Авіа-2017", „Авіа-2019" (Київ, 2017, 2019); VIII International Scientific-Technical Conference «Problems of chemmotology. theory and practice of rational use of traditional and alternative fuels & lubricants» (Kyiv–Kamianets-Podilskyi, 2021), The XXVIII International Scientific and Practical Conference «Science and practice, actual problems, innovations»(Milan, 2022), X Всесвітньому конгресі "Авіація в XXI столітті" (Київ, 2022).

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Основні положення теоретичних досліджень, сучасні методи формування зносостійких покриттів та методики оцінки їх якості, розробка методології оцінки якості електроіскрових покриттів триботехнічного призначення, аналіз впливу процесів контактної взаємодії електроіскрових покриттів на зносостійкість трибоспряження, оцінка триботехнічних характеристик дискретних електроіскрових покриттів з реєстрацією та

обробкою сигналів акустичної емісії, обробка та аналіз результатів виконано в даній роботі особисто автором.

Публікації, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Mikosianchyk O., Mnatsakanov R., Tokaruk V., Kharchenko O. Phenomenological probabilistic model of friction pair wear taking into account thermal mechanical stability of boundary layers. *Chemmotological Aspects of Sustainable Development of Transport. Sustainable Aviation*: monograph / Boichenko S. et al. (eds). Springer, Cham, 2022. P.31-49. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06577-4_3 (Scopus) (*особистий внесок автора - проведено аналіз кінетики руйнування поверхневого шару елементів трибоспряження при зношуванні).*

2. Бабак В.П., Стадніченко В.М., Приймаков О.Г., Токарук В.В. Прогнозування витривалості авіаційних матеріалів. *Автоматика. Автоматизація, електротехнічні комплекси і системи.* 2004. №1 (13) С.158 – 162. (категорія Б) (*особистий внесок автора - встановлено взаємозв'язок між параметрами авіаційних матеріалів для прогнозування витривалості фрикційних вузлів авіаційної техніки).*

3. Запорожець В.В., Білякович О.М., Токарук В.В. Експериментальна оцінка енергії активації поверхневого руйнування сталі ШХ15 в авіапаливі ТС-1. *Проблеми трибології.* 2006. № 1. С.118-126 (категорія Б) (*особистий внесок автора - визначено енергію активації поверхневого руйнування сталі ШХ15 в середовищі авіапалива ТС-1).*

4. Запорожець В.В., Білякович О.М., Токарук В.В. Вплив параметрів навантаження на товщину мастильного шару в контактній зоні трибосполучень. *Проблеми трибології.* 2006. № 2. С.101-104. (категорія Б) (*особистий внесок автора - проведено оцінку ефективності мастильної дії змащувальних матеріалів в залежності від параметрів навантаження пари тертя).*

5. Запорожець В.В., Білякович О.М., Токарук В.В. Оцінка впливу трансмісійної оливи на стан поверхонь трибоспряжень. *Проблеми трибології.* 2007. № 3. С. 30-33. (категорія Б) (*особистий внесок автора - проведено аналіз анізотропії поверхневих поверхонь тертя агрегатів трансмісії авіаційної наземної техніки).*

6. Запорожець В.В., Білякович О.М., Токарук В.В., Федина В.П. Застосування Фур'є–аналізу для оцінки ресурсу трансмісійних олив. *Вісник Національного транспортного університету.* 2007. № 14. С. 242-244. (категорія Б) (*особистий внесок автора - проведено аналіз поверхонь тертя агрегатів трансмісії авіаційної наземної техніки з застосуванням фрактографічного методу та Фур'є-аналізу).*

7. Запорожець В.В., Стадниченко В.В., Токарук В.В. Методология ускоренной оценки износостойкости образцов с электроискровыми покрытиями. *Проблеми трибології.* 2010. № 4. С.25-31. (категорія Б) (*особистий внесок автора - визначено основні закономірності зміни акустичного випромінювання при оцінці зносостійкості електроіскрових*

покриттів).

8. Запорожець В.В., Стадниченко В.В., Токарук В.В. Динамика задиростойкости и переходные процессы при износе электроискровых покрытий. *Проблеми трибології.* 2010. № 4. С. 47-51. (категорія Б) (*особистий внесок автора - визначено основні закономірності зміни акустичного випромінювання пар тертя з модифікованим покриттям у широкому діапазоні експлуатаційних навантажень).*

9. Запорожець В.В., Стадниченко В.В., Токарук В.В. Критерії оцінювання механізму дисипації енергії та прогнозування ресурсу при акусто-емісійній діагностиці аксиально-поршневих гідромашин. *Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб.* 2010. Вип. 54. С.5–18. (категорія Б) (*особистий внесок автора - проаналізовано кореляційні зв'язки між параметрами сигналів акустичної емісії і процесами, які виникають на поверхнях фрикційного контакту об'ємних гідромашин).*

10. Мікосянчик О. О., Кудрін А. П., Мнацаканов Р. Г., Якобчук О. Є., Токарук В. В. Оцінка теплових процесів у фрикційному контакті при коченні з проковзуванням. *Проблеми тертя та зношування.* 2017. № 4 (77). С. 1-4 (категорія Б) (*особистий внесок автора - проаналізовано вплив швидкості ковзання при коченні з проковзуванням на інтенсивність тепловиділення в локальному контакті при різних режимах тертя).*

11. Якобчук О. Є., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О., Хімко А.М., Токарук В. В. Протизадирні властивості мастила Aero Shell Grease 33 при використанні конструкційних сталей 9ХС і 30ХГСА. *Проблеми тертя та зношування.* 2018. № 1 (78). С. 27-36. (категорія Б) (*особистий внесок автора - проаналізовано зміни товщини мастильного шару в умовах масляного голодування).*

12. Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О., Якобчук О. Є., Токарук В. В. Прогнозування лінійного зносу контактних поверхонь в екстремальних умовах тертя. *Проблеми тертя та зношування.* 2018. № 4 (81). С. 4-12. (категорія Б) (*особистий внесок автора - проаналізовано вплив контактного навантаження на триботехнічні властивості літієвих мастил в нестаціонарних умовах тертя).*

13. Токарук В. В., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О., Кудрін А. П. Закономірності зміни триботехнічних параметрів та сигналів акустичної емісії для пари тертя 30ХГСА-Д16. *Проблеми тертя та зношування.* 2019. № 2 (83). С. 19-28. DOI: 10.18372/0370-2197.2(83).13688 (категорія Б) (*особистий внесок автора - встановлені чинники, що впливають на ефективність припрацювання ЕІП по зміні усередненої потужності акустичної емісії).*

14. Токарук В.В., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О. Кінетика зміни сигналів акустичної емісії та триботехнічних характеристик для пар тертя в умовах ковзання. *Проблеми тертя та зношування.* 2019. № 3 (84). С. 40-47. DOI: 10.18372/0370-2197.3(84).13850 (категорія Б) (*особистий внесок автора - встановлені механізми формування зносостійких вторинних структур).*

15. Mikosianchyk O.A., Tokaruk V.V., Mnatsakanov R.G. Estimation of

tribotechnical characteristics and signals of acoustic emission for a friction pair of steel 30HGSA and duraluminium D16 modified by an alloy VK8. *Problems of Tribologyy*. 2019. №2 (92). С. 48-54. DOI: 10.31891/2079-1372-2019-92-2-48-54 (категорія Б) (*особистий внесок автора - встановлена кореляційна залежність загального вагового зносу пар тертя та усередненої потужності акустичної емісії)*.

16. Богданович О.І., Токарук В.В., Статніков Ю.Я. Визначення енергії активації механо-хімічного модифікування сталі ШХ15 в середовищі авіаційного палива ТС-1 довготривалого зберігання. *Проблеми тертя та зношування*. 2020. № 1 (86). С. 93-97. (категорія Б) DOI: 10.18372/0370-2197.1(86).14492 (*особистий внесок автора - визначено енергію активації поверхневого руйнування сталі ШХ15 в середовищі авіапалива ТС-1)*.

17. Tokaruk V.V., Mikosianchyk O.O., Mnatsakanov R. G., Rohozhyna N.O. Microgeometrical characteristics of electrospark coatings in the initial state. *Problems of Tribologyy*. 2020. №4 (98). С. 33-39. DOI: 10.31891/2079-1372-2020-98-4-33-39 (категорія Б) (*особистий внесок автора - на основі скінченно-елементного методу проведено моделювання напружено-деформованого стану дискретних покриттів.*)

18. Мікосянчик О. О., Мнацаканов Р. Г., Якобчук О.Є., Хімко А.М., Токарук В. В. Розробка методики контролю та діагностики експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів за триботехнічними параметрами. *Проблеми тертя та зношування*. 2021. № 1 (90). С. 11-19. DOI: 10.18372/0370-2197.1(90).15234 (категорія Б) (*особистий внесок автора - визначено триботехнічні параметри для діагностики мастильних матеріалів)*.

19. Мікосянчик О. О., Токарук В. В., Мнацаканов Р. Г., Занько С. М., Жосан О. Ю. Вплив деформаційних процесів і структурно-фазових перетворень на зносостійкість контактних поверхонь. *Проблеми тертя та зношування*. 2021. № 2 (91). С. 54-62. DOI: 10.18372/0370-2197.2(91).15529 (категорія Б) (*особистий внесок автора - досліджено вплив структурно-деформаційних змін контактних поверхонь на їх зносостійкість)*.

20. Токарук В. В., Мікосянчик О. О., Мнацаканов Р. Г., Жосан О. Ю., Долот Д.В. Аналіз міцністних характеристик електроіскрових покриттів. *Проблеми тертя та зношування*. 2021. № 3 (92). С. 47-53. DOI: 10.18372/0370-2197.3(92).15936 (категорія Б) (*особистий внесок автора - досліджено вплив твердості електроіскрового покриття на розповсюдження деформаційних процесів в матеріалі основи)*.

21. Токарук В. В., Мікосянчик О. О., Мнацаканов Р. Г., Хімко А.М., Ільїна О.А. Оцінка напружено-деформованого стану трибоконтакту за зміною усередненої потужності акустичної емісії. *Проблеми тертя та зношування*. 2022. № 3 (96). С. 30-40. DOI: 10.18372/0370-2197.3(96).16833 (категорія Б) (*особистий внесок автора - визначено механізми зниження напружено-деформованого стану в поверхневих шарах модифікованого сплаву*).

22. Bogdanovych O. I., Al-Quraan T. M. A., Tokaruk V. V., Haddad J. S.

Algorithm for Tribokinetic Modeling Tests of Triboconjuction Materials for Industrial Products. *Tribology in Industry*. 2021. Vol. 43, № 1. P. 159-166. DOI: 10.24874/ti.977.10.20.02 (Scopus) (*особистий внесок автора - встановлено кінетичні критерії та критерії енергії активації для оцінки зносостійкості сталі ШХ-15*).

23. Al-Quraan T. M. A., Tokaruk V. V., Mikosianchyk O. A., Mnatsakanov R. G., Kichata N. M., Kuzin N. O. Influence of Continuity of Electric Spark Coatings on Wear Resistance of Aluminum Alloy. *Tribology in Industry*. 2021. Vol. 43, № 4. P. 603-614. DOI: 10.24874/ti.1170.08.21.10 (Scopus) (*особистий внесок автора - визначено оптимальну суцільність ЕІП*).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Запорожець В.В., Токарук В.В. Фурье анализ структуры поверхностного слоя в связи с оценкой ресурса смазочных материалов. *Сучасні проблеми машинознавства*: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 22-23 верес. 2008 р., Київ, 2008. С. 32 (*особистий внесок автора - проведено аналіз поверхонь тертя дослідних зразків з застосуванням фрактографічного методу та Фур'є-аналізу*).

2. Запорожець В.В., Токарук В.В. Трибологическая оценка пар трения нанопокрытий акусто-эмиссинонным методом. *Сучасні проблеми трибології*: матеріали Міжн. наук.-техн. конф., м. Київ, 19-21 трав. 2010 р. Київ, 2010. С. 51. (*особистий внесок автора - визначено основні закономірності зміни акустичного випромінювання пар тертя з покриттями у широкому діапазоні експлуатаційних навантажень*).

3. Богданович О.І., Токарук В.В. Порівняння енергії активації поверхневого руйнування сталі ШХ 15 в середовищі авіапалив "ТС-1" кондиційного та "ТС-1" довготривалого зберігання. *АВІА-2017*: матеріали XIII Міжн. наук.-техн. конф., м. Київ, 19-21 квітн. 2017 р. Київ, 2017. С. 19.78-19.82 (*особистий внесок автора - визначено енергію активації поверхневого руйнування сталі ШХ15 в середовищі авіапалива ТС-1)*.

4. Токарук В. В., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О. Кінетика зміни сигналів акустичної емісії та триботехнічних характеристик для пар тертя в умовах ковзання. *Сучасні проблеми машинознавства*: матеріали IV Міжн. наук.-техн. конф., м. Київ, 10 жовтн. 2019 р. Київ, 2019. С. 40-47. (*особистий внесок автора - встановлені механізми формування зносостійких вторинних структур)*.

5. Tokaruk V.V., Mikosianchyk O.O. Stress-strain state of duralumin alloy with wear-resistant discrete coatings. *АВІА-2019*: матеріали XIV Міжн. наук.-техн. конф., м. Київ, 23-25 квітн. 2019 р. Київ, 2019. С. 19.42-19.44. (*особистий внесок автора - проведено моделювання напружено-деформованого стану дюралюмінієвого сплаву з дискретними покриттями)*.

6. Mikosianchyk O.O., Mnatsakanov R.G., Tokaruk V.V., Kharchenko O.V. Phenomenological probabilistic model of friction pair wear taking into account thermomechanical stability of boundary layers. *Problems of chemmotology. Theory and practice of rational use of traditional and alternative fuels & lubric*ants: VIII International Scientific-Technical Conference, at Kyiv–Kamianets-Podilskyi, 21-

25 June 2021. P.31-49. (*особистий внесок автора - проаналізовано вплив контактного навантаження на триботехнічні властивості мастил в нестаціонарних умовах тертя).*

7. Ільїна О.А., Мікосянчик О.О., Мнацаканов Р.Г., Харченко О.В., Токарук В.В. Моделювання процесів зношування зубчастого зачеплення. *Science and practice, actual problems, innovations*: The XXVIII International Scientific and Practical Conference, 19 – 22 July 2022, Milan, Italy. 2022. P. 280-284. (*особистий внесок автора - проведено теоретичні дослідження інтенсивності зношування елементів трибоспряжень в умовах кочення з проковзуванням).*

8. Токарук В.В., Мнацаканов Р.Г., Горб Є.С., Якобчук О.Є. Оцінка структурної пристосованості трибосистеми на основі реєстрації та обробки сигналів акустичної емісії. *«AVIATION IN THE XXI-st CENTURY»: Safety in Aviation And Space Technologies:* The Tenth World Congress, 28-30 September 2022, Kyiv. 2022. С. 1.2.1.-1.2.4. *(особистий внесок автора - встановлено механізм дисипативних процесів трибосистеми з дискретним електроіскровим покриттям міді).*

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Пристрій для вимірювання величини лінійного зносу без зупинки машини: пат. 62928 Україна: МПК G01 B21/06. №201100937; заявл. 28.01.2011; опубл. 26.09.2011, Бюл. № 18. 3 с. (*особистий внесок автора - проведено патентний пошук і виконано оформлення патенту).*

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації 214 сторінок, із них 153 сторінки основного тексту. Робота включає 25 таблиць, 57 рисунків, 5 додатків. Список використаних джерел налічує 190 найменувань.

Оцінка мови та стилю дисертації.

Текст дисертації (та автореферату) викладений грамотно, доступною мовою, зміст характеризується логічним та послідовним характером і містить необхідні узагальнення. Наведені в авторефераті наукові положення, висновки і рекомендації, результати опублікованих праць чітко осмислені та обґрунтовані в тексті дисертації. Дисертація оформлена згідно з вимогами Міністерства освіти і науки України.

Детальний розгляд дисертаційної роботи (та автореферату) дає підстави констатувати ідентичність автореферату та основних положень дисертації.

Відповідність дисертації паспорту спеціальності, за якою вона подається до захисту.

Дисертація «Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям» Токарука Віталія Володимировича повністю відповідає паспорту спеціальності 05.02.04 - тертя та зношування в машинах, зокрема таким напрямам досліджень:

- розроблення методів проведення випробувань на тертя та зношування устаткування, випробувальних стендів і трибометричних комплексів;

- дослідження процесів, які розвиваються на поверхнях тертя контактуючих тіл, зв'язок цих процесів із тріадою тертя та керування цими процесами. розв'язок конкретних задач для вузлів тертя;

- розрахунок і прогнозування параметрів тертя та зношування елементів машин з урахуванням зміни властивостей матеріалів, поверхонь тертя, мастильних матеріалів і зовнішніх чинників;

- розроблення методів досягнення потрібних триботехнічних властивостей поверхонь тертя завдяки зміцнюючому впливу та нанесенню покриття та дослідження їх трибологічних характеристик;

- дослідження процесів, котрі самоорганізуються при фрикційній взаємодії в трибологічній системі;

- розроблення методів і засобів безперервного контролю та керування станом фрикційних параметрів трибовузлів. застосування трибодіагностики на модельних і реальних конструкціях з метою контролю експлуатаційних характеристик вузлів тертя та прогнозування їх ресурсу.

Характеристика особистості здобувача. Під час підготовки дисертаційної роботи «Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям» Токарук Віталій Володимирович проявив себе як творчий дослідник і науковець, здатний самостійно на високому науково-методичному рівні вирішувати наукові та практичні завдання. Він повною мірою володіє сучасними методами аналізу, має належний рівень теоретичної та практичної підготовки.

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Токарука Віталія Володимировича на тему «Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям».

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Токарука Віталія Володимировича відповідає спеціальності 05.02.04 - тертя та зношування в машинах та вимогам нормативних документів МОН України до кандидатських дисертацій (зокрема, пп.9,11,12,13,14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 з подальшими змінами і доповненнями).

3. Рекомендувати дисертаційну роботу “Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям”, подану Токаруком Віталієм Володимировичем на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.04 - тертя та зношування в машинах, до захисту у спеціалізованій вченій раді Д 26.062.06 в Національному авіаційному університеті.

4. Результати голосування присутніх на засіданні докторів наук та кандидатів наук:

– всього: “за” – 23, “проти” – немає, “утрималося” – немає; в тому числі за профілем поданої на розгляд дисертації: “за” – 14, У тому числі 7 докторів наук зі спеціальності та 7 кандидатів наук зі спеціальності.

Головуючий на засіданні:
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри
підримання льотної придатності
повітряних суден НАУ _____ Рудольф МНАЦАКАНОВ
(підпис) (власне ім’я ПРІЗВИЩЕ))

Секретар засідання:
кандидат технічних наук, доцент,
заступник декана АКФ НАУ _____ Михайло СВИРИД
(підпис) (власне ім’я ПРІЗВИЩЕ)