

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора,
головного наукового співробітника Центрального науково-дослідного
інституту Збройних Сил України Башинського Володимира Георгійовича
на дисертаційну роботу

Плешкунова Сергія Анатолійовича

на тему «Методика прискореного випробування зміцнених поверхонь
для підвищення ресурсу насоса паливної системи повітряного судна»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт»

Актуальність теми дисертації.

В роботі в цілому поставлені завдання, в яких на основі структурно-енергетичного балансу енергії поверхневих шарів, в умовах контактної взаємодії, визначений критерій утомної міцності, експериментально аналізуючи котрий, методом акустичної емісії, були оцінені ресурсні показники поверхневих шарів матеріалу, що підтверджується положеннями сформульованими у теоретичних дослідженнях та дозволяє істотним чином зменшити час порівняльної оцінки. Це може бути використано при розробці нових конструкційних матеріалів або способів їх зміцнення для підвищення ресурсу виробу.

Швидка зміна поколінь техніки, впровадження нових технологій привело до перерозподілу періоду часу розробки технічної системи та її застосуванням за призначенням, що потребує розробки методів прийняття інженерних, технічних, технологічних та конструктивних рішень, які скорочували б загальний час розробки та випробувань.

У транспорті взагалі і в авіаційному транспорті зокрема має місце необхідність забезпечення безпечного його використання. Це у свою чергу вимагає підвищені вимоги щодо надійності окремих систем, елементів, вузлів деталей та механізмів. Аналіз даних відмов показав, що одним з елементів надійності силової установки повітряного судна є справність

паливної системи, в якій ключову роль відіграють паливні насоси, при відмові, яких припиняє працювати двигун. Тому роботи по підвищенню надійності та ресурсу паливного насоса та паливної системи є актуальними.

Виходячи із вищенаведеного, тема дисертаційного дослідження Плешкунова Сергія Анатолійовича, що присвячена вирішенню науково-практичної задачі, підвищення ресурсу агрегатів повітряних суден на основі експериментальної оцінки механізмів утомної міцності для визначення передумов та критерію, який дозволить обрати відповідний метод зміцнення поверхні тертя, є актуальною.

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

Робота виконувалася відповідно до Закону України “Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні” від 08.09.2011 року № 3715-VI та п. 2 постанови Кабінету Міністрів України від 17.05.2012 року № 397 “Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2012–2016 р.р.”, договором про співпрацю між ХНУПС та підприємствами України в рамках Інноваційного аерокосмічного кластера “Мехатроніка”, а також планом науково-дослідних робіт ХНУПС ім. Івана Кожедуба і була складовою частиною науково-дослідною роботою НДР Розробка методики безрозбірної діагностики рухомих з'єднань агрегатів авіаційної техніки з застосуванням методу акустичної емісії (“ДІАГНОСТИКА-В”), ДР №0101U001463.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій

Сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації в достатній мірі відповідають її змісту, розкривають суть обраної теми та поставленої мети, є науково обґрунтованими та підтверджуються отриманими результатами. Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів підтверджена застосуванням сучасних методів експериментальних досліджень, коректних припущень та

узгодженості результатів досліджень з теоретичними положеннями. Апробація наукових результатів засвідчує обґрунтованість, коректність, достовірність сформульованих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій, що підтверджується актом впровадження.

Основні положення, що визначають наукову новизну дисертаційної роботи полягають у наступному:

Основною метою роботи було підвищення ресурсу агрегатів повітряних суден на основі експериментальної оцінки механізмів утомної міцності для визначення передумов та критерію, який дозволить обрати відповідний метод зміцнення поверхні тертя. В результаті була розроблена методика прискорених випробувань для визначення показників утомної міцності поверхневих шарів конструкційних матеріалів, яка істотним чином зменшує час експериментальної оцінки при проведенні порівняльних випробувань різних конструкційних матеріалів чи порівняння різних видів їх модифікації.

Положення, що характеризують наукову новизну дисертаційної роботи, полягають у такому:

1. Отримав подальший розвиток метод оцінки втомної міцності матеріалів насоса паливної системи повітряного судна при контактній взаємодії тертя, в якому, на відміну від відомих, використовується енергетичний критерій, а показником в якості критерію визначена питома енергія руйнування поверхні за один цикл навантаження \bar{E}_{tm} , що дозволяє підвищити якість оцінки контактної утомної міцності.

2. Розвинуто підхід до експериментальних досліджень конструкційних матеріалів на контактну втомну міцність шляхом проведення випробувань імпульсним навантаженням, величина якого визначалася як 0,95 навантаження руйнування, який істотним чином зменшує час експертної оцінки при проведенні порівняльних випробувань різних конструкційних матеріалів чи порівняння різних видів їх модифікації.

3. Отримав подальший розвиток структурно-енергетичний метод оцінки показників контактної утомної міцності матеріалів, в якому, на відміну від відомих, проведено кількісну оцінку енергії дисипації конструкційних матеріалів після імпульсного навантаження за показниками акустико-емісійного випромінювання.

4. Отримало подальший розвиток уявлення про зв'язок характерної мікроструктури поверхні після азотування з високими показниками її втомної міцності при меншій товщині зміцненого шару у порівнянні з традиційною цементацією.

Значення отриманих результатів для теорії і практики:

Отримані нові наукові результати дозволили практично скоротити термін випробування варіантних проробок різних методів зміцнення поверхонь при терті на концептуальному етапі розробки об'єктів машинобудування, а саме агрегатів, до складу яких входять зубчасті передачі, зокрема шестеренчастих насосів паливної системи повітряного судна.

Безпосереднє застосування визначеного найкращого методу зміцнення поверхонь дозволяє збільшити ресурс таких агрегатів, що в цілому підвищує надійність систем, до складу яких вони входять. Це є критичною складовою у системі заходів забезпечення безпеки польотів на етапі прийняття інженерних, технічних та технологічних рішень як при модернізації існуючих, так і при розробці перспективних зразків об'єктів машинобудування взагалі та авіаційної техніки (літаків) зокрема.

Крім цього, практично важливою є методика прискорених випробувань та запропонований енергетичний критерій контактної втомної міцності для обрання технології зміцнення поверхневого шару. Ці практичні результати дисертаційних досліджень впроваджено у виробництво АТ "ФЕД" при проведенні порівняльних випробувань на контактну втомну міцність зразків, зміцнених цементуванням та плазмовим азотуванням, про що свідчить Акт впровадження та Науково-технічний звіт за участю автора.

Повнота викладення наукових положень та отриманих результатів в опублікованих працях.

Матеріали роботи, що подані до захисту, отримано здобувачем самостійно. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 8 наукових працях, з яких, наукових статей опубліковано у фахових виданнях України – 7, наукова стаття у зарубіжних виданнях – 1 (яка проіндексована в міжнародних наукометричних базах), 1 науково-технічний звіт, 1 акт про впровадження результатів наукових досліджень.

Основні положення дисертації були представлені та отримали позитивну оцінку під час участі у конференціях різного рівня, в т.ч. на десяти міжнародних та одній – всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції.

Структура та обсяг дисертації.

Структура дисертаційної роботи відповідає поставленим завданням дослідження, включає вступ, чотири розділи, загальні висновки та три додатки. Загальний обсяг дисертації становить 183 сторінки і включає: обсяг основного тексту 147 сторінки, 47 рисунків, 18 таблиць. Список використаних джерел нараховує 203 найменування.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, показаний її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, сформульовані мета та завдання дисертаційного дослідження, визначені об'єкт, предмет та методи дослідження, викладена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. У вступі, також, розкритий особистий внесок автора, публікації та апробація результатів досліджень, структура та загальний обсяг дисертаційної роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз публікацій, присвячених підвищенню надійності та ресурсу агрегатів повітряних суден. З'ясовано що серед авіаційних агрегатів сучасних повітряних суден найбільш поширеними є зубчасті передачі, і тому їх безвідмовність та довгий ресурс роботи є визначальним чинником надійності роботи агрегатів повітряних суден.

Умови тертя цих зубчастих передач визначаються вимогами до високої здатності протистояти контактному втомному руйнуванню. Визначено, що універсальною базою для опису зміни стану поверхневого шару можна прийняти структурно-енергетичну теорію, у якій критичний стан матеріалу пов'язаний з досягненням щільності внутрішньої енергії системи, величини енергії активації руйнування, при якій дисипативна система переходить до точки біфуркації де енергію активації руйнування можна розглядати як практичну характеристику міцності матеріалу. Визначено, що трибоспрямлення працює як синергетична відкрита термодинамічна система, а її фундаментальною властивістю є здатність до саморегулювання, та адаптації до зовнішніх умов. Виконано аналіз методів іонно-плазмового модифікування поверхневого шару, як фактору підвищення ресурсних показників деталей авіаційної техніки, що працюють в умовах високих контактних навантажень. Проведено аналіз методів оцінки показників утомної міцності матеріалів, що працюють в умовах контактного навантаження. На основі результатів аналізу публікацій сформульовано мету та завдання дослідження.

У другому розділі проведено аналіз структурно-енергетичного балансу енергії поверхневого шару в умовах контактної взаємодії, що дозволив вирішити питання визначення критерію утомної міцності матеріалів для прискореної порівняльної оцінки ресурсних показників деталей авіаційної техніки (питома енергія руйнування за один цикл навантаження \bar{E}_{um}). Завдяки методу реєстрації сигналу акустичної емісії, як зручного та точного інструмента кількісної оцінки параметра утомної пошкоджуваності, була розроблена методика прискорених досліджень на контактну утомну міцність для зменшення часу на прийняття рішення щодо визначення більш зносостійкого матеріалу або методу зміцнення. Встановлено, що основним фактором, який впливає на утомну контактну міцність конструкційних матеріалів є коефіцієнт дисипації енергії, що є константою для кожного з матеріалів. Виконаний аналіз кінетики розвитку пошкоджень в умовах

контактного утомного зношування де визначено міру пошкодження, яка адекватно оцінює зміну фізико-механічних властивостей конструкційного матеріалу у процесі тривалої експлуатації та проведено математичний опис еволюції змін міри пошкодження матеріалів у процесі тривалої експлуатації в умовах знакозмінних навантажень.

У **третьому розділі** розглянуто методичний підхід щодо експериментального дослідження дисертаційної роботи та наведено його результати. Виконано вибір матеріалів та робочого середовища, кінематичних схем контакту для проведення досліджень, моделюючих роботу випробовуваних зразків. Визначено основні напрямки та методи дослідження. Розроблено методику прискореної оцінки показників утомної міцності поверхневих шарів конструкційних матеріалів. Виконано статистичну оцінку середньої глибини утомних пошкоджень за результатами довготривалих випробувань. Проведена експериментальна оцінка показників малоциклової та багатоциклової пошкоджуваності матеріалів, зміцнених цементуванням та іонно-плазмовим азотуванням. Аналіз результатів прискорених випробувань і подальших досліджень зразків підтвердив правомірність підходів до проведення таких випробувань. Метод акустичної емісії довів високу ефективність реєстрації моменту переходу поверхонь тертя від нормального механохімічного зношування до початкового утомного руйнування. Була проведена порівняльна оцінка технологічних методів цементації та іонно-плазмового азотування шляхом довготривалих випробувань на утомну міцність. Виконана порівняльна оцінка технологічних методів цементації та іонно-плазмового азотування шляхом випробувань на зносостійкість в умовах малоциклового зношування. Проведені поглиблені фрактографічні, мікроструктурні і фазові дослідження особливостей поверхневого шару сталевих зразків, зміцнених традиційною цементацією та новим іонно-плазмовим азотуванням AVINIT N, виявлені причини значної переваги іонно-плазмового азотування перед цементуванням за показником утомної міцності.

У четвертому розділі представлені прикладні аспекти реалізації результатів наукових досліджень. Зокрема надані практичні рекомендації з підвищення ресурсу коробок приводів та шестеренних насосів паливної системи. Аналіз теоретичних, експериментальних та металографічних досліджень показав, що запропонована в роботі методика прискореної оцінки втомної зносостійкості матеріалів є достовірною та може бути застосована на етапі концептуального проектування агрегатів авіаційної паливної системи з підвищеним ресурсом, що надасть можливість значно скоротити час та витрати на експериментальні ресурсні дослідження. Також наводяться схеми з практичними рекомендаціями з підвищення ресурсу шестеренних насосів та коробок приводів на етапі проектування та експлуатації.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації, планування мінімально необхідного обсягу контролю, акт впровадження результатів дисертаційної роботи.

Висновки результатів дисертаційного дослідження сформульовані послідовно. Висновки відповідають структурі дослідження, містять основні його результати та відображають реалізацію мети і завдання дослідження.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота виконана в науковому стилі, має логічну структуру в повній мірі відповідає вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня PhD, встановлених Міністерством освіти і науки України. Основні результати дисертаційної роботи чітко сформульовано та представлено у графічному матеріалі та висновках. Дисертаційна робота Плешкунова Сергія Анатолійовича є завершеною науковою роботою і повно відображає основні наукові здобутки, пропозиції та рекомендації автора.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Зауваження до дисертаційної роботи.

Загалом, позитивно оцінюючи наукове і практичне значення отриманих дисертантом результатів, варто зазначити наступні дискусійні положення та зауваження до змісту дисертаційної роботи:

1. При визначенні енергетичного критерію для прискореної оцінки утомної міцності матеріалів при контактній взаємодії – питома енергія руйнування поверхні за один цикл навантаження $E_{\text{пит}}$ – використовувалась щільність імовірності величини міри пошкоджень поверхневого шару, хоча більш наочним було б використання величини максимальної щільності прихованої внутрішньої енергії, при якій матеріал починає руйнуватися.

2. Фактором, який впливає на утомну контактну міцність конструкційних матеріалів автором запропонований коефіцієнт дисипації енергії, але питання визначення цього параметру для конкретних матеріалів у роботі не розглядалося.

3. В межах розробленої у роботі методики прискорених досліджень конструкційних матеріалів на контактну утомну міцність, яка передбачає випробування імпульсним навантаженням, не достатньо обґрунтовано, чому у якості граничного рівня при імпульсному навантаженні обрано величину саме у 95% від навантаження руйнування.

4. У роботі було б доцільним визначити, наскільки зменшаться експлуатаційні витрати при обслуговуванні літаків завдяки збільшенню ресурсних показників насосів-регуляторів при застосуванні обраного за результатами дисертаційних досліджень методу збільшення показників втомного зношування – іонно-плазмового азотування.

5. У таблиці 3.1 (стор.86) потрібно на наступній сторінці 87 позначити “Продовження таблиці 3.1”.

6. На рисунку 3.12 не позначені умовні значення на вісі абсцис і вісі ординат діаграми зміни сигналів акустичної емісії.

Однак, наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновки

На підставі викладеного вважаю, що дисертаційна робота Плешкунова Сергія Анатолійовича на тему «Методика прискореного випробування зміцнених поверхонь для підвищення ресурсу насоса паливної системи повітряного судна», яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії у галузі 27 «Транспорт» за спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт» є самостійно виконаною, завершеною кваліфікаційною науково-дослідною роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують конкретне науково-практичне завдання, підвищення ресурсу насоса паливної системи повітряного судна, що відповідає паспорту спеціальності 272 Авіаційний транспорт.

За змістом та якістю теоретичних та експериментальних досліджень і отриманих результатів дисертаційна робота в повній мірі відповідає рівню дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та освітньо-наукової програми «Створення та експлуатація авіаційного транспорту» спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт».

Дисертаційна робота повністю відповідає вимогам щодо оформлення дисертаційних робіт згідно Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 року (zareestrovanim в Міністерстві юстиції України 03 лютого 2017 року за № 155/30023).

Зважаючи на актуальність вирішених завдань, отриманих наукових результатів, теоретично обґрунтованих принципових наукових положень, використаних сучасних методів наукових досліджень, великий обсяг проведених експериментальних досліджень і глибину опрацювання досліджуваного питання та підтверджену значимість актом впровадження, дисертаційна робота і представлені до розгляду публікації задовольняють вимогам пп. 6-9 Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та

скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 341 від 21.03.2022 р.), а її автор, Плешкунов Сергій Анатолійович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 27 «Транспорт» за спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт».

Офіційний опонент,

головний науковий співробітник Центрального
науково-дослідного інституту Збройних Сил України,
Заслужений діяч науки і техніки України,
Лауреат Державної премії України,
академік Академії технологічних наук України,
доктор технічних наук, професор

Володимир БАШИНСЬКИЙ

Підпис Башинського В.Г. засвідчую:

Начальник відділу персоналу та стройового
Центрального науково-дослідного інститут Збройних Сил України



серпня 2024 року

Олександр ЯРОШ