РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Оганяна Ігоря Валерійовича

на тему «Визначення технічного стану паливного регулятора турбовального двигуна за результатами заводських випробувань»,

яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 Електрична інженерія

за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

**Актуальність теми дисертації**

В авіаційній техніці одним із найважливіших факторів, що визначають безпеку польотів, є надійність паливних систем двигунів літальних апаратів. До складу паливної системи входить такі складні агрегати, як паливні регулятори, будь-яка несправність яких може призвести до виникнення аварійної ситуації.

З метою забезпечення високої надійності та мінімізації ризиків, пов’язаних із експлуатацією авіаційних двигунів, у сучасних умовах значно зростає значення своєчасного технічного обслуговування й ремонту паливних регуляторів. Найбільш ефективним підходом нині є ремонт за технічним станом, що дозволяє скоротити кількість технологічних операцій, зменшити вартість ремонтного комплекту деталей і знизити витрати, пов’язані з простоями.

Втім, успішне застосування цього підходу можливе лише за умови розробки точних і ефективних методів діагностування технічного стану паливного регулятора. Особливої уваги потребує питання діагностування паливних регуляторів, які через свою конструктивну складність характеризуються великою кількістю елементів із подібними впливами на параметри робочого процесу, що ускладнює локалізацію дефектів.

Існуючі методи діагностування гідромеханічних агрегатів, зокрема паливних регуляторів, здебільшого базуються на просторовому аналізі параметрів робочого процесу або ідентифікації математичних моделей без урахування ймовірнісних характеристик достовірності, які активно застосовуються у діагностуванні газотурбінних двигунів. Відсутність таких характеристик суттєво ускладнює оцінку достовірності діагнозу за умов обмеженості даних і значної подібності впливів різних дефектів.

Також актуальним є завдання діагностування паливних регуляторів на предмет їхньої стійкості в складі систем автоматичного керування. Відсутність ефективних методів виявлення в заводських умовах виробника регуляторів, що можуть призводити до нестійкої роботи двигуна, ускладнює їх ранню діагностику та створює додаткові ризики під час експлуатації. Тому розробка методів діагностування для оцінки стійкості паливних регуляторів у складі САК є нагальною задачею з високим практичним значенням.

Розробка методів, що дозволяють ефективно локалізувати несправності паливних регуляторів та виявляти паливні регулятори, здатні призводити до нестійкої роботи двигуна, має важливе наукове та практичне значення для авіаційної галузі України. Впровадження таких методів дозволить підвищити безпеку польотів, зменшити ризики експлуатації двигунів та оптимізувати витрати на їх технічне обслуговування і ремонт. Саме тому тема даної дисертаційної роботи є актуальною та своєчасною.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни**

Матеріали, викладені у дисертації Оганяна Ігоря Валерійовича, дозволяють зробити висновок про обґрунтованість та достовірність його наукових результатів. Вони забезпечуються використанням сучасних методів дослідження, зокрема, на основі методів математичного моделювання гідравлічних та механічних процесів, діагностування в просторі параметрів робочого процесу. Вирішена важлива науково-технічна проблема, що полягає у розробці ефективного методу локалізації несправностей паливного регулятора на усталених режимах роботи в просторі вимірюваних параметрів його робочого процесу, характерних для заводських випробувань, а також методу діагностичного аналізу динамічних характеристик паливного регулятора в умовах підприємства-виробника з метою визначення його схильності до нестійкої роботи в складі системи автоматичного керування. **Отримані результати можуть бути використані в ремонтних, сервісних та виробничих підприємствах авіаційної галузі** для підвищення ефективності діагностування та ремонту гідравлічних систем літальних апаратів, оптимізації технологічних процесів контролю якості та підвищення надійності продукції.

З метою підтвердження достовірності отриманих розробленими у роботі методами математичного моделювання результатів було проведено ряд натурних експериментів. Достовірність отриманих результатів діагностування несправностей паливних регуляторів була підтверджена за рахунок співвіднесення з фактичними результатами дефектації паливних регуляторів на випробувальному стенді та дефектації після розбирання паливних регуляторів для ремонту. Достовірність отриманих результатів класифікації динамічних характеристик паливних регуляторів була підтверджена за рахунок співвіднесення з результатами спільних випробувань двигунів з паливними регуляторами на випробувальному стенді, на яких підтверджувалась стійкість системи автоматичного керування.

Результати дисертаційної роботи використано на АТ «ФЕД» (м. Харків) при розробці технології ремонту паливних регуляторів за технічним станом.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Уперше запропоновано метод виявлення паливних регуляторів, що спільно із двигуном здатні спричинити нестійку роботу системи автоматичного керування, який відрізняється від відомих застосуванням методів кластеризації до динамічних характеристик зазначених регуляторів, і забезпечує виявлення несправних регуляторів безпосередньо в умовах підприємства-виробника.
2. Розроблено новий метод параметричного діагностування гідромеханічного паливного регулятора в просторі параметрів робочого процесу, який відрізняється від відомих використанням вдосконаленої математичної моделі зазначеного регулятора та аналізом визначених методом Байєса ймовірностей можливих технічних станів об’єкта, що дозволяє розпізнавати несправності регулятора на усталених режимах роботи за наявності складу вимірюваних параметрів, характерного для заводських випробувань.
3. **Набули подальшого розвитку методи моделювання гідромеханічних систем: шляхом введення** характеристик елементів, що змінюються внаслідок зміни технічного стану, створено нелінійну динамічну діагностичну модель паливного регулятора турбовального двигуна вертольота, яка забезпечує моделювання впливу несправностей на параметри робочого процесу та може бути використана для формування методів параметричного діагностування.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Оганяна Ігоря Валерійовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, а її результати свідчать про вагомий особистий внесок здобувача у науковий напрям енергетичного машинобудування.

Можна зробити висновок, що дисертаційна робота Оганяна Ігоря Валерійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

**Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою, котра відповідає особливостям стилю наукових досліджень з використанням правильних термінів і понять, характерних для стандартної фахової та наукової термінології. Дисертаційна робота є цілісною і в ній досягнуті тематична повнота та розкриття головної наукової ідеї автора. Подані в роботі наукові та практичні положення логічно викладені та достатньо обґрунтовані.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та списків використаних джерел до кожного розділу і загальних висновків. Загальний обсяг дисертації складає 193 сторінки, з них 151 сторінки основного тексту, 33 рисунків по тексту, 2 рисунки на окремих 3 сторінках, 48 таблиць по тексту, 1 таблиця на 1 окремій сторінці, 1 додатку на 2 сторінках, списків використаних джерел до кожного розділу, сумарно викладених на 14 сторінках.

У **вступі** автором обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульовано мету і завдання дослідження, а також описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи та особистий внесок автора.

У **першому розділі** **проведений комплексний аналіз літературних джерел,** присвячених діагностуванню гідравлічних систем. Виявлено, що наявні методи не забезпечують імовірнісних оцінок технічного стану та мають обмежену ефективність за умов обмежених вимірюваних параметрів. Це сформулювало наукову проблему, визначило завдання та спрямувало пошук нових діагностичних підходів.

У **другому розділі** описується **розроблена нелінійна динамічна діагностична модель паливного регулятора,** яка здатна відтворювати гідравлічні та механічні процеси на усталених і перехідних режимах. У моделі врахована можливість зміни конструктивних параметрів, що імітують наявність дефекту. У другому розділі представлені результати моделювання, які були порівнянні на відповідність експериментальним даним. Також наводиться методика отримання лінійної діагностичної моделі на базі нелінійної динамічної діагностичної моделі паливного регулятора з метою її **застосування в методі параметричного діагностування. Лінійна математична модель представлена** у вигляді матриць коефіцієнтів впливу конструктивних параметрів на параметри робочого процесу. В описанні методики лінеаризації наводиться опис підходу з використанням набору матриць коефіцієнтів варіації, що дозволяє знизити похибки лінеаризаціїї до 0,005 %.

У **третьому розділі** наведено опис **розробленого методу параметричного діагностування несправностей паливного регулятора на усталених режимах,** який оснований на теоремі Байєса. В описанні методу вказано, що метод оперує ймовірнісними оцінками належності поточного стану виробу до певного класу дефектів, враховує обмеженість вимірюваних параметрів та похибки вимірювання. Також представленні результати перевірки **методу параметричного діагностування несправностей паливного регулятора** на штучно створених тестових вибірках діагностичних ознак. В результатах вказано, що середній показник повноти класифікації досяг 79,3%, що є добрим результатом.

**Також в третьому розділі наведено описання оригінального методу класифікації динамічних характеристик паливного регулятора**, який був розроблений для виявлення паливних регуляторів в умовах завода виробника, котрі можуть призвести до нестійкої роботи системи автоматичного керування двигуном. В описанні методу представленний аналіз частотних характеристик регулятора з-за допомогою метода Фішера, що дозволило кластеризувати отримані динамічні параметри. Приведений результат класифікації динамічних станів паливних регуляторів на тестовій вибірці. Результат тестування дозволяє зробити висновок про готовність застосування **методу класифікації динамічних характеристик паливного регулятора в реальних умовах.**

У **четвертому розділі** представлені результати **експериментальної перевірки розроблених методів на етапі** вхідного контролю семи паливних регуляторів у процесі **ремонту за технічним станом**. Отримані результати перевірки методу параметричного діагностування несправностей паливного регулятора засвідчили можливість виявлення дефектів на ранніх стадіях, та оптимізацію обсягу ремонтних робіт. Точність класифікації склала від 67% до 100% залежно від складності завдання та подібності впливу параметрів.

Представлені результати перевірки ефективності **методу класифікації динамічних характеристик паливного регулятора** на вибірці із 190 паливних регуляторів також підтвердили високу ефективність методу: точність класифікації склала 91,3%, повнота – 80,77%, F1-міра – 85,71%.

У висновках наведено підсумкові результати проведених у дисертації наукових досліджень, що узагальнюють висновки за кожним з її розділів.

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

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

За матеріалами дисертації опубліковано 6 наукових праць, з яких 4 – це статті у виданнях, які входять до переліку наукових фахових видань України; 1 – це стаття, що опублікована у виданні, що реферується в базі даних Sciendo; 1 – це патент.

Основні положення дисертаційної роботи публікувались в виданнях за тематикою роботи (Математична модель паливного насоса-регулятора турбовального двигуна вертольота, Авіаційно-космічна техніка та технологія; Алгоритм класифікації технічного стану паливного регулятора у просторі параметрів робочого процесу, Авіаційно-космічна техніка та технологія; Diagnostic model of aircraft turbine engine governor pump, Transactions on Aerospace Research; Огляд методів параметричного діагностування агрегатів гідравлічних і паливних систем літальних апаратів, Авіаційно-космічна техніка та технологія; Перевірка методу класифікації технічного стану паливного регулятора турбовального двигуна в просторі параметрів робочого процесу в умовах заводських випробувань, Авіаційно-космічна техніка та технологія).

Наукові публікації здобувача містять опис наукових досліджень, проведених в рамках дисертаційного пошуку, аналіз сутності проблеми, методів і результатів проведених досліджень, а також обґрунтовані висновки. В наукових публікаціях здобувача не виявлено порушень принципів академічної доброчесності, висновки є оригінальними.

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

**Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В другому розділі доцільно було б надати опис складу рівнянь для розробленої математичної моделі паливного регулятора. Це б допомогло оцінити складність моделі та необхідність застосування методу діагностування в просторі параметрів робочого процесу.

2. В третьому розділі при виборі алгоритму для класифікації динамічних характеристик паливного регулятора згадуються такі алгоритми як k-Nearest Neighbors (kNN), Logistic Regression (LR) та Linear Discriminant Analysis (LDA). Було б доцільно порівняти ефективність цих трьох алгоритмів.

3. В третьому розділі не представлений аналіз впливу похибок вимірювання на ефективність методу класифікації динамічних характеристик паливного регулятора.

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

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Оганяна Ігоря Валерійовича на тему "Визначення технічного стану паливного регулятора турбовального двигуна за результатами заводських випробувань" виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 14 Електрична інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022р. №44.

Здобувач Оганян Ігор Валерійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Рецензент:

Кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри теорії авіаційних двигунів

Національного аерокосмічного університету

«Харківський авіаційний інститут» Ксенія ФЕСЕНКО