

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Марценюка Євгена Вікторовича
«Формування складу вимірюваних параметрів газотурбінних двигунів для
забезпечення моніторингу виробітку ресурсу дисків», що подана
на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

1. Актуальність і новизна теми.

Забезпечення високої надійності та ефективності експлуатації авіаційних і вертолітних газотурбінних двигунів (ГТД) нерозривно пов'язане з переходом до їх експлуатації за фактичним технічним станом. Але це неможливо без впровадження бортових систем моніторингу, які в режимі реального часу оцінюють виробіток ресурсу критичних деталей двигуна. До переліку цих деталей входять найбільш навантажені елементи ротора, зокрема диски компресора та турбіни, вали. Основним механізмом пошкодження зазначених деталей є малоциклова втома (МЦВ), а точність оцінки залишкового ресурсу в критичних зонах деталей безпосередньо залежить від достовірності визначення їх термонапруженого стану (ТНС). Навіть незначні систематичні чи випадкові похибки у вимірюванні польотних параметрів або похибки самих математичних моделей ТНС здатні призвести до суттєвих відхилень в оцінці циклічної довговічності. У зв'язку з цим дисертаційна робота, спрямована на підвищення точності моніторингу виробітку призначеного ресурсу основних деталей авіаційних двигунів шляхом обґрунтованого вибору вимірюваних параметрів, є **практично актуальною**.

Виконані за цим напрямом роботи сфокусовано переважно на ресурсі робочих лопаток, де домінує механізм тривалого статичного навантаження (повзучість), тоді як для дисків ротора визначальною є малоциклова втома, а саме диски належать до основних деталей, ресурс яких є головним показником міцнісної надійності двигуна. Задача визначення складу вимірюваних параметрів для аналізу виробітку циклічного ресурсу потребує проведення циклу наукових робіт із формування критеріїв ефективності, моніторингових моделей, аналізу впливу різноманітних факторів на похибки визначення виробітку циклічного ресурсу. Це визначає **наукову актуальність** цієї роботи.

Актуальність виконаних досліджень також підтверджує те, що вони є частиною планів наукових досліджень, що проводилися на кафедрі конструкції авіаційних двигунів Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» у рамках виконання держбюджетної теми, а також госпдоговірних робіт з АТ «МОТОР СІЧ».

Таким чином, тема дисертації має наукову й практичну спрямованість, а об'єкт досліджень містить новизну.

2. Наукова цінність та практичне значення результатів дисертації.

Найбільш значущим *науковим результатом*, який уперше отримано автором і який визначає відповідність дисертації вимогам до рівня кваліфікаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, є новий метод формування складу вимірюваних параметрів газотурбінних двигунів для забезпечення моніторингу виробітку ресурсу дисків, який базується на запропонованому відрізняється урахуванням циклічного характеру навантажень і дозволяє визначати найкращий склад вимірюваних параметрів для заданого узагальненого польотного циклу.

Опрацьовано також особливості формування розрахункових циклів для деталей вертолїтних двигунів, зумовлені характером типових польотних циклів.

Дисертація має суттєве значення для практики:

В оглядовій частині роботи виконано детальний та докладний аналіз загальних підходів до вибору вимірюваних параметрів двигунів для розв'язання задач діагностування взагалі та задач аналізу виробітку ресурсу зокрема.

Проаналізовано джерела похибок розрахункового визначення ресурсу, дано їх кількісну оцінку.

Виявлено особливості виробітку циклічного ресурсу дисків двигунів таких типів літальних апаратів як вертолїт, маневрений літак і протипожежний літак.

Визначено рівні пошкоджень дисків, які виникають при аварійному вимкненні двигунів, які працюють на різних режимах. Показано, що ці значення є суттєвими, що потребує врахування зазначених режимів при проектуванні систем експлуатаційного моніторингу ресурсу.

Для двигуна типу ТВ3-117, який є типовим представником вертолїтних двигунів середнього класу вантажопідйомності, виявлено склади вимірюваних параметрів, які є найбільш ефективними для розв'язання задачі моніторингу ресурсу. Результати роботи використано на АТ «МОТОР СІЧ».

3. Обґрунтованість і вірогідність результатів.

Основні результати і висновки дисертації представляються достовірними, достатньо обґрунтованими та випробуваними.

Автор базує свої дослідження на детальному кваліфікованому аналізі проблеми та робіт інших дослідників, які виконано у напрямку її вирішення.

В основу методики дослідження покладено досвід попередників, самостійне формування математичних моделей температурного та напружено-деформованого станів, відокремлення значущих факторів, формування комплексного критерію ефективності досліджуваного складу вимірюваних параметрів.

Математичне моделювання виконано на основі відомих випробуваних програмних засобів, які стали стандартними в сучасних дослідженнях. Тому

достовірність отриманих результатів і розроблених моделей не викликає сумнівів.

Висновки, наведені автором в дисертації, повністю відповідають її змісту й отриманим результатам.

4. Повнота викладення дисертації в публікаціях.

Дисертант протягом багатьох років проводив дослідження з моніторингу термонапруженого стану двигунів і виробітку їх ресурсу. Про це свідчать його публікації. Результати дисертації регулярно висвітлювались у статтях і матеріалах конференцій. У доробку автора 13 наукових праць, серед них шість статей у вітчизняних фахових виданнях, дві статті в журналах, які реферуються у наукометричній базі Scopus, і п'ять тез доповідей на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях. Аналіз цих робіт дозволяє вважати, що основні результати дисертації опубліковані у повному обсязі та мають широку апробацію.

5. Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Оформлення дисертації відповідає встановленим вимогам.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списків використаних джерел до кожного розділу та трьох додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми та необхідність вибраного напрямку досліджень, сформульовано їх мету і задачі, викладено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про структуру дисертаційної роботи.

Перший розділ характеризується глибоким аналізом стану проблеми моніторингу виробітку ресурсу (МВР) основних деталей авіаційних ГТД. Проведено класифікацію існуючих підходів до провадження д систем МВР.

У **другому розділі** запропоновано методику синтезу оптимального набору вимірюваних параметрів для задач моніторингу ресурсу дисків турбіни авіаційного ГТД і формулюванню комплексного критерію якості.

У **третьому розділі** розроблено моделі невимірюваних параметрів для чотирьох імовірних складів вимірювань на прикладі вертолітного турбовального двигуна типу ТВ3-117 з однокаскадним газогенератором і вільною силовою турбіною.

У **четвертому розділі** надано результати аналізу ефективності моніторингових моделей невимірюваних параметрів ГТД за комплексним критерієм якості.

У **п'ятому розділі** дисертаційної роботи проведено практичну апробацію рекомендацій щодо вибору структури моніторингових моделей, які розроблено на основі запропонованого критерію якості.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та

відповідають змісту дисертаційної роботи.

Списки використаних джерел до кожного розділу є достатньо повними.

У **додатках** наведено значення коефіцієнтів термодинамічних моделей, акти впровадження результатів дисертаційного дослідження у роботу АТ «МОТОР СІЧ» та у навчальний процес у Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут».

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

6. Зауваження до дисертаційної роботи.

1) Одним з найпотужніших чинників розкиду експериментально визначеного ресурсу матеріалів (вираженого як кількість циклів до руйнування) є розкид властивостей сплавів навіть у межах однієї партії. У тексті роботи бракує інформації про те, як саме цей природний допуск враховано в математичних моделях при розрахунку малоциклової втоми.

2) Автор поставив і розв'язав задачу врахування зміни технічного стану в критерії вибору складу вимірюваних параметрів. Але було б доцільно проаналізувати, як змінюється точність моніторингу ресурсу в процесі природної деградації проточної частини, яка, безумовно, впливає на зв'язки між вимірюваними й невимірюваними параметрами та, таким чином, на точність аналізу ресурсу.

3) Роботу присвячено аналізу циклічного ресурсу дисків турбовальних двигунів для вертольотів. Безумовно, отримані результати мають більш універсальний характер, але область їх можливого застосування в роботі не визначено.

4) У підрозділі 2.2.2 автор переконливо показав, що особливістю формування пошкоджень дисків вертолїтних газотурбінних двигунів є те, що часткові цикли навантаження (підцикли) вносять незначний внесок у загальне пошкодження, і тому їх можна виключити з розгляду. Проте в роботі не проаналізовано деякі нерозрахункові ситуації, які можуть виникнути в експлуатації та суттєво змінити загальне пошкодження, накопичене в польоті. Так, зокрема, не враховано можливість початку польоту в умовах, коли аналізовані деталі ще не повністю вистигли після попереднього польоту, і тому мають остаточні напруження та деформації в небезпечних точках.

5) Автор побудував методику аналізу похибок визначення виробітку циклічного ресурсу на основі формули Менсона. Проте відомо, що сама ця

формула є джерелом методичних похибок, які автор не проаналізував.

Наведені зауваження не впливають на загальну високу оцінку роботи, оскільки є наслідком різноплановості дисертації, що є вибором автора.

7. Висновки.

У цілому, сформульовану мету дисертаційного дослідження досягнуто. Сформовано метод обґрунтованого вибору складу вимірюваних параметрів газотурбінних двигунів для експлуатаційного моніторингу виробітку циклічного ресурсу дисків. Дисертаційна робота виконана на достатньому науковому рівні та є значною працею, що містить нові науково обґрунтовані результати в галузі двигунів і енергетичних установок, які є вирішенням важливого науково-практичного завдання розроблення методу обґрунтованого вибору складу вимірюваних параметрів та формування стійких математичних моделей для моніторингу ресурсу дисків.

Таким чином, за актуальністю, ступенем новизни, науковою та практичною цінністю, апробацією отриманих результатів дисертаційна робота Марценюка Євгена Вікторовича «Формування складу вимірюваних параметрів газотурбінних двигунів для забезпечення моніторингу виробітку ресурсу дисків» відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій згідно з п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 (зі змінами), до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а автор роботи, Марценюк Євген Вікторович, цілком заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Офіційна опонентка,
завідувачка відділу вібраційних і
термоміцнісних досліджень
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А. М. Підгорного НАН України,
докторка технічних наук, професорка



Наталя СМЕТАНКІНА

Підпис д.т.н., проф.
Наталі Сметанкіної засвідчую

Учений секретар
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А.М. Підгорного НАН України
доктор технічних наук




Сергій УГРІМОВ