

## **ВІДГУК**

на дисертаційну роботу  
Паздрій Ольги Ярославівни

на тему «Вдосконалення бортової системи керування і контролю для багатокласової діагностики авіаційного газотурбінного двигуна»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації  
за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

### **Актуальність теми дисертації.**

Підвищення безпеки польотів та запобігання катастрофічних ситуацій в авіації вимагає постійного удосконалення та інновацій у сфері бортових систем керування і контролю авіаційними газотурбінними двигунами. Це обумовлено тим, що газотурбінні двигуни є серцевиною сучасних літаків, і їх надійна робота є критично важливою для безпеки польотів. Створення нових та вдосконалення існуючих систем керування та контролю направлене на можливість виявляти можливі несправності та ризики ще до їх прояву, забезпечуючи оперативну реакцію екіпажу та зменшуючи ймовірність аварій.

Більшість сучасних бортових систем керування і контролю авіаційними газотурбінними двигунами побудовані за принципом передаварійного та аварійного реагування та не дозволяють виявити пошкодження та експлуатаційні порушення роботи двигуна на ранньому етапі. Оскільки початкові пошкодження двигуна не призводять до підвищення загального рівню чи акустичного шуму вимірюного вібраційного процесу, застосування класичних методів спектрального аналізу, не дозволяють виділити інформативні складові з шумоподібних вібраційних сигналів. Таким чином, постає необхідність обґрунтування і вдосконалення методів та алгоритмів для багаторівневої обробки діагностичної інформації, які забезпечать визначення діагностичних ознак та ідентифікацію технічного стану ГТД під час експлуатації.

Таким чином, наукове обґрунтування та вдосконалення бортової системи керування та контролю двигуном для забезпечення багатокласової діагностики авіаційного газотурбінного двигуна на основі багаторівневої обробки діагностичної інформації є актуальним та важливим науково-практичним завданням.



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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Для вдосконалення системи керування та контролю авіаційного газотурбінного двигуна запропоновано та обґрунтовано підсистему багатокласової діагностики у складі штатної бортової системи контролю вібрації на основі багаторівневої обробки віброакустичних сигналів у процесі експлуатації, що розширює функціональні можливості системи і забезпечує виявлення пошкоджень роторних елементів та порушення штатних режимів функціонування через потрапляння сторонніх предметів, дисбаланс ротора і задирання робочих коліс сторонніми предметами.

2. Для діагностики пошкодження валу ротора обґрунтовано застосування фрактального аналізу вібраційних сигналів на нестационарному режимі роботи двигуна та встановлено функціональні залежності показника Херста від параметру пошкодження.

3. Запропоновано та обґрунтовано застосування дворівневої обробки віброакустичних сигналів для діагностики тріщин лопаток двигуна шляхом послідовного використання методів частотно-часового та фрактального аналізу, на основі яких отримано нову діагностичну ознаку - розмірність Мінковського частотно-часових спектрів.

4. Для діагностики порушення штатних режимів функціонування через потрапляння сторонніх предметів, дисбаланс ротора і задирання робочих коліс сторонніми предметами запропоновано та обґрунтовано нові діагностичні ознаки: показник Херста віброакустичних сигналів та розмірність Мінковського оцінок модуля біспектра віброакустичних сигналів на стаціонарних та нестационарних режимах експлуатації двигуна.

Наукові положення, викладені в дисертаційній роботі є достатньо обґрунтованими, а отримані результати узгоджуються з вже відомими та є їх подальшим розвитком. Здобувач здійснив глибокий аналіз та систематизацію наукових результатів, використовуючи ретельно обґрунтовані методи дослідження. Достовірність отриманих результатів підкріплюється моделюванням та експериментальними дослідження фізичної моделі робочого колеса.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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



За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Паздрій О.Я. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям "Автоматичні комп'ютерно-інтегровані системи навігації, керування та моніторингу складних динамічних об'єктів".

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Паздрій Ольги Ярославівни 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.

Результати досліджень викладені послідовно та лаконічно, що дозволяє читачеві легко розібратися у методології та отриманих висновках. Автор використовує доступний стиль мовлення, що сприяє зрозумінню матеріалу. Використання загальноприйнятої термінології забезпечує консистентність і точність викладення інформації, що є важливим фактором для наукових досліджень.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 236 сторінок.

У вступі розкрито актуальність теми дослідження, приведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено мету і завдання дослідження, методи дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації, кількість публікацій та обсяг роботи, що відповідає загальноприйнятій структурі дисертаційної роботи.

У першому розділі здобувачем здійснено огляд стану проблеми та обґрунтовано напрямки досліджень дисертаційної роботи. Розглянуто основні сучасні методи діагностики авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) у процесі експлуатації та показані основні тенденції розвитку автоматичних систем керування і діагностики технічного стану ГТД. Проведено аналіз попередніх робіт за темою дослідження, а також обґрунтовано мету і завдання дослідження.

У другому розділі поведено структурно-функціональний синтез підсистеми багатокласової діагностики у складі бортової системи контролю



вібрації двигуна. Здобувачем наведено функціональну схему вдосконаленої бортової системи, а також запропоновано та обґрунтовано методи обробки вібраційних сигналів для виявлення початкових пошкоджень роторних елементів двигуна та експлуатаційних порушень штатних режимів експлуатації ГТД. Приведено методичні аспекти для інтерпретації вібраційних сигналів на основі фрактального аналізу.

Третій розділ присвячено комп'ютерному моделюванню та аналізу тріщиноподібних пошкоджень роторних елементів авіаційного газотурбінного двигуна таких як вал ротора та лопатка робочого колеса турбіни на стаціонарних та нестационарних режимах роботи ГТД. Представлено дослідження ефективності застосування дворівневої обробки вібраційних сигналів для діагностики тріщиноподібних пошкоджень роторних елементів двигуна на початкових етапах їх розвитку. Представлено методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для розробки Підсистеми багатокласової діагностики.

У четвертому розділі дисертаційної роботи здобувачем представлено результати фізичного моделювання обертової системи з імітацією експлуатаційних порушень та результати обробки, отриманих у ході фізичного моделювання віброакустичних сигналів. Розроблено алгоритм для діагностики експлуатаційних порушень штатних режимів функціонування двигуна (потрапляння сторонніх предметів, дисбаланс ротора і задирання робочих коліс сторонніми предметами) на основі багаторівневого аналізу віброакустичних сигналів для застосування у підсистемі багатокласової діагностики ГДТ.

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

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 21 науковій публікації здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus, з яких 1 стаття у виданнях, віднесених до першого — третього кuartилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank; 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, що пройшли кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосуються наукових результатів дисертації.

Також результати дисертації були апробовані на 14 наукових фахових конференціях.



Здобувач продемонстрував високий науковий рівень у своїх публікаціях, який відображається в їхній актуальності, методичності та оригінальності про що свідчить наявність трьох наукових статей у виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus. Здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності, представляючи результати своїх досліджень з чітким викладом джерел та відсутністю плагіату.

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

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У роботі здобувачем не були проведені достатні дослідження відповідності стенду фізичної моделі реальному газотурбінному двигуну. Відсутність цих досліджень ускладнює оцінку достовірності результатів та впливає на обґрунтованість висновків. Крім того, здобувачем не були наведені критерії подібності розробленого стенду обертової системи до реального авіаційного газотурбінного двигуна. Бажано в майбутньому провести дослідження узгодженості критеріїв подібності та встановити яким чином це може вплинути на достовірність результатів та вірогідність застосування отриманих даних у широкому класі практичних задач.

2. У представленій математичній моделі вібрацій (рис. 2.2) не враховано вплив температурних режимів роботи ГТД, що може суттєво вплинути на динаміку вібраційних процесів. Відсутність цього аспекту ускладнює розуміння та адекватну оцінку вібраційних характеристик. Деяке непорозуміння виникає щодо того, яким чином у показниках вібрації оцінити пошкодження, враховуючи можливий вплив температурного розширення. Відсутність кореляції між температурним розширенням обертових елементів двигуна та їх впливом на рівень вібрації створює прогалину в розумінні процесів, що відбуваються. Цей недолік можливо виправити, якщо додатково розглянути температурні показники та їх вплив на вібрації, а також узгодити математичну модель з реальними умовами експлуатації для більш точної діагностики технічного стану двигуна.

3. У роботі відзначається деяка невідповідність використання програмно-апаратного забезпечення реальним системам. Зазначено, що для отримання діагностичної інформації в бортовій системі може бути використані 10-бітний аналого-цифровий перетворювач та мікроконтролер, проте доцільним було б використати аналого-цифровий перетворювач з більшою розрядністю в поєднанні з сигнальним процесором. Використання запропонованого елементного поєднання дозволило б обробити більшу кількість інформації про вібраційний сигнал з високою швидкістю. Це могло б забезпечити більшу



точність та достовірність результатів. Тому, рекомендується врахувати запропоновані зміни елементної бази у майбутніх дослідженнях для поліпшення методів та точності аналізу вібраційних сигналів.

4. В роботі здобувач не розкрив градацію та інтерпретацію розмірності Мінковського, адже це є важливим для глибшого розуміння сутності використання методів фрактального аналізу для вібраційних сигналів. Також відсутність обґрунтування зв'язку між розмірностями Херста та Мінковського може обмежити повноту та точність аналізу даних. На мою думку, розкриття зв'язку між цими двома фрактальними розмірностями в подальших дослідженнях може бути важливим для ефективного застосування методів фрактального аналізу вібраційних сигналів у практичних дослідженнях і прийнятті відповідних рішень.

Підводячи підсумок критичного розгляду матеріалів дисертаційної роботи, зазначу, що більшість зауважень, як видно із відгуку, торкається формальної чи технічної сторони оформлення роботи. Решта були сформульовані з метою поглиблення уяви здобувача про сутність фізичних процесів та звернення уваги на певні складні особливості обраної моделі.

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

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Паздрій Ольги Ярославівни на тему «Вдосконалення бортової системи керування і контролю для багатокласової діагностики авіаційного газотурбінного двигуна» 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 Електроніки, автоматизації та електронних комунікацій. 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 2022 р. № 44.

Здобувач Паздрій Ольга Ярославівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні

комунікації за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка.

**Офіційний опонент:**

доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, кандидат технічних наук, доцент



Андрій ТОПАЛОВ

М.П.

« 15 » травня 2024 року

