

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Куліка Анатолія Степановича на дисертаційну роботу Литвяка Олександра Миколайовича “Моделі і методи аналізу динамічних процесів в системі автоматичного керування турбовального газотурбінного двигуна вертольота”, представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 — системи та процеси керування

### 1. Актуальність теми

Інтенсивний розвиток повітряних транспортних засобів викликав цілу низку науково-практичних проблем із забезпечення безпеки польотів. Серед різних класів літальних апаратів клас вертольотів посідає особливе місце. Вертольот — це літальний апарат зі складною динамікою кутових та поступових рухів, які відображають статичну нестійкість його функціонування та малі демпфіруючі зусилля. Ці обставини є суттєвими при вирішенні задач автоматизації як окремих процесів керування вертольотом, так і в цілому автономного керування вертольотом в повітряному середовищі. Безпека польотів вертольотів забезпечується узгодженою безаварійною роботою усіх компонентів, агрегатів та систем. Серед них силова установка є найбільш важливою частиною, функціонування якої істотно впливає на показники безпеки польотів.

В процесі льотної експлуатації турбовальних газотурбінних двигунів було помічено таке явище як автоколивання обертів роторів турбокомпресора і вільної турбини у замкненому контурі системи автоматичного керування обертів. Виявленням причин цього явища займались ряд вчених та фахівців профільних підприємств, але конструктивних результатів не було досягнуто.

Дисертаційне дослідження Литвяка О. М. присвячено вирішенню актуальної для України науково-прикладної проблеми підвищення стійкості функціонування систем автоматичного керування обертів турбовальних газотурбінних двигунів вертольотів.

Тема дисертаційної роботи відповідає Державній цільовій програмі авіаційної безпеки цивільної авіації України, а також розпорядженню Кабінету Міністрів України № 600-р від 30.08.2017 р. про Перелік критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки. Дослідження проводились відповідно до планів науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України за держбюджетними темами.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Литвяка О. М. є безумовно актуальною.

## **2. Наукова новизна**

Наукові дослідження Литвяка О.М. базуються на таких положеннях. Перше — це достовірні експериментальні дані про процеси автоколивань. Друге — використання фізичних законів динамічних механічних і гідравлічних процесів. Третє — аналітична формалізація експериментальних результатів дослідження. Четверте — математичне моделювання процесів перетворення сигналів, що описують автоколивання. П'яте — підвищення системного рівня розгляду причин автоколивань. Використання цих положень дозволило автору отримати комплекс наукових результатів.

Основний науковий результат дисертаційних досліджень Литвяка О. М. полягає в розробці методології виявлення причин появи автоколивань та їх усунення у системі автоматичного керування оберті вільної турбіни газотурбінних двигунів вертольотів.

Наукову новизну має спектр отриманих в дисертаційній роботі результатів. Так, уперше запропоновано математичні модельні засоби, які підвищують адекватність відображення реальних факторів, що впливають на появу автоколивань у системі керування оберті в.

Подальшого розвитку в роботі набули методи визначення межі стійкості систем автоматичного керування наземних та льотних випробувань та метод навантаження гідрогальмівної установки, що відповідає характеристикам несучих гвинтів вертольотів.

Представлені автором результати досліджень є науковими результатами, які відрізняються від існуючих в області керування обертами вільних турбін газотурбінних двигунів виявленням та усуненням причин автоколивань.

## **3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується й забезпечується коректним використанням апробованих методів і засобів наукових досліджень, а саме: методів класичної теорії автоматичного керування, методів обробки експериментальних даних, методів моделювання гідродинамічних процесів, методів чисельного розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь та чисельного моделювання в середовищах “Matlab”, “ViaSin” та “Mathcad”.

Міра обґрунтованості математичної ідеалізації гідродинамічних процесів в системі автоматичного керування обертів турбовальних газотурбінних двигунів досить переконлива і базується на класичних принципах та аргументах.

Міра обґрунтованості висновків і рекомендацій, що базується на отриманих результатах аналітичних, комп'ютерних і натурних досліджень, достатня для практичного застосування в процесі ескізного проектування стійких систем автоматичного керування обертів вертольотних двигунів.

Достовірність отриманих наукових результатів, а також рекомендацій з їх подальшого використання підтверджується результатами комп'ютерного моделювання, натурними експериментами і участю у виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт за тематикою дисертаційного дослідження, а також актами впровадження отриманих результатів на ДП "Харківських машинобудівний завод «ФЕД»", у Національному технічному університеті "ХПІ", у науково-дослідному експериментально-випробувальному центрі ТОВ "Бранд Трейд".

#### **4. Оцінка змісту, стиль викладу, публікації та апробації**

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел із 250 найменувань, додатків; містить 334 сторінки основної частини, 142 рисунки, 24 таблиці. Оформлення дисертації виконано відповідно до існуючих документів. Дисертація має логічну структуру, її мова відповідає рівню науково-технічних видань, профільна термінологія, в цілому, використовується правильно, стиль викладання зручний для аналізу, ясний для розуміння.

Слід зазначити, що висновки та рекомендації за розділами сформульовані не як прості анотації, а як наукові положення, що дозволяють оцінити особистий внесок автора, ступінь новизни та значимість отриманих результатів.

Зміст автореферату повною мірою відображає основні положення дисертації та містить у собі визначення участі автора у спільно опублікованих роботах, що доводить самостійність його дослідницької праці.

Ознайомлення з дисертацією, авторефератом та низкою статей дозволяє зробити висновки щодо наявності необхідної повноти публікацій наукових результатів у регламентованих виданнях. Особистий внесок здобувача підтверджується відображенням основних розділів дисертації в статтях і виступах з доповідями, список яких складає 35 найменувань, в тому числі 3 статті у виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази Scopus, 1 стаття — у закордонному фаховому виданні.

Апробація основних наукових та практичних результатів відбулась на 10 Міжнародних науково-практичних конференціях за тематикою досліджень.

Актуальність викладених результатів та наукових положень, характеристику яких надано в п. 2, свідчить про особистий внесок автора у вирішення проблеми автоколивань обертів вертольотних двигунів.

## **5. Практичне значення**

Отримані автором результати в області забезпечення стійкості систем автоматичного керування обертами вертольотних двигунів свідчать про можливість підвищення безпеки польотів вертольотів.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджені у ДП “Харківських машинобудівний завод «ФЕД»”, у ТОВ “Бранд Трейд” та у Національному технічному університеті “ХПІ”.

Результати дисертаційної роботи мають широку перспективу для використання при проектуванні та випробуваннях систем автоматичного керування обертів вертольотних двигунів.

Подальше практичне використання результатів роботи доцільно у ЗМКБ “Прогрес”, АТ “Мотор Січ”, а також у навчальному процесі профільних кафедр технічних університетів.

## **6. Загальні недоліки та зауваження**

1. Проведені дослідження базуються на використанні передавальних функцій, які описують процеси перетворення поблизу околу тільки однієї робочої точки. Вертольотні двигуни функціонують в більш широкому діапазоні вхідних і вихідних сигналів, тому доцільно було використовувати інтервальні передавальні функції та критерії стійкості В. Л. Харитонова.

2. У першому розділі дисертації не представлені вербальні та графічні моделі регулятора обертів вільної турбіни (РОВТ), що суттєво заважає початковому розумінню науково-технічної проблеми, що вирішується в роботі.

3. У пункті 3.4.3 не обґрунтована можливість заміни гістерезисної характеристики РОВТ на еквівалентну їй характеристику із зоною нечутливості.

4. У розділі 5 автором отримана розрахункова статична характеристика РОВТ, яка має монотонний характер, що свідчить про відсутність суттєво нелінійних ефектів, які є причиною автоколивань у системі автоматичного керування обертами вертольотних двигунів.

5. Що стосується правильного використання передавальних функцій та пов'язаної з ними термінологією, при описі процесів перетворювання як у часовій,



так і в частотній області, автор використовує одні й ті ж позначення змінних. Наприклад, с. 138, с. 143, с. 158. Структурні схеми позначення САК в роботі названі як структурно-динамічні схеми, рис. 3.7, рис. 3.10. Коефіцієнт перетворення у роботі названий як коефіцієнт підсилення на с. 42 і далі.

6. Для аргументації наукових положень дослідження здобувач використовує факти з посилань на відносно застарілі наукові джерела, наприклад, №№123, 170, 171, 200, 238 та інші.

7. У роботі зустрічаються невдалі вирази та помилки. На стор. 27 — “розроблено метод визначення”, с. 29 — “обґрунтувати параметри і закони регулювання...”, на рис. 2.19 та 2.20 не позначені  $P_2$ ,  $F_5$ , ..., с. 135 — “За зміни зміни частоти...” та інші.

Наведені недоліки, частина яких може бути віднесена до задач подальших досліджень, не впливають суттєво на зазначені позитивні висновки про дисертаційну роботу.

## 7. Загальні висновки

Дисертаційна робота Литвяка Олександра Миколайовича є закінченим дослідженням, що містить нові, науково обґрунтовані результати, які у сукупності забезпечують розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми підвищення стійкості функціонування системи автоматичного керування обертів вертольотних двигунів за допомогою виключення автоколивальних режимів.

Вважаю, що за актуальністю теми, науковою новизною, ступеню обґрунтованості наукових результатів, практичною цінністю, повнотою викладу результатів у працях здобувача і за оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.13 р. № 567 (зі змінами), які висуваються до кваліфікаційних наукових робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а її автор Литвяк Олександр Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Голова

спеціалізованої вченої ради,

Д 64.062.01,

доктор технічних наук, професор,

лауреат Державної премії України



А. С. Кулік