

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 64.050.14 Національного технічного
університету “ХПІ”

61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Дмитрієва Володимира Анатолійовича на дисертаційну роботу Литвяка Олександра Миколайовича на тему “Моделі і методи аналізу динамічних процесів в системі автоматичного керування турбовального газотурбінного двигуна вертольота”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – Системи та процеси керування

Загальна характеристика дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, списку умовних позначень, вступу, шести розділів, списку використаних джерел, який включає 250 найменувань і 17 додатків. Загальний об’єм кваліфікаційної роботи складає 427 сторінок з них 269 сторінок основного тексту.

Актуальність теми дисертації обумовлена невирішеністю проблеми розвитку автоколивань в системі автоматичного регулювання обертів вільної турбіни турбовального газотурбінного двигуна вертольоту із гідромеханічною системою автоматичного керування. З аналізу літературних джерел випливає, що із даною проблемою, в тій чи іншій мірі, стикалися більшість виробників вертолітних двигунів, але внаслідок складності динамічної системи, якою є система автоматичного керування турбовального газотурбінного двигуна вертольоту, проблему до кінця так і не було вирішено. Особливо зазначена проблема набула актуальності для вітчизняного турбовального двигуна типу ТВЗ-117 (АТ “Мотор Січ”) під час наземних випробувань на гідрогальмівній установці, для якого число відмов по причині розвитку автоколивань досягає 24 % від загального числа випробувань. Не менше актуальна тема досліджень й для вертольотів (Мі-8, Мі-24, Ка-32) із даним типом двигунів, для яких розвиток автоколивань у процесі льотної експлуатації також не рідкісне явище. Актуальність теми дисертації полягає і у важливості розвитку моделей й методів дослідження динаміки складних автоматичних систем для такого напряму науки і техніки як системи та процеси керування.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі автоматики і управління в технічних системах Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” у рамках науково-дослідницьких робіт Міністерства освіти і науки України: “Розробка алгоритмічно-програмних методів аналізу

та моделювання динамічних об'єктів в реальному масштабі часу" (ДР № 0109U002398); "Розробка програмно-алгоритмічних засобів аналізу та перетворення динамічних об'єктів" (ДР № 0111U2272), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів, а також на замову ДП ХМЗ "ФЕД".

Резюмуючи сказане, можна зробити висновок про актуальність і обґрунтованість теми дисертації Литвяка О.М., а також про перспективу використання результатів дослідження на складних виробничих підприємствах авіаційної промисловості.

Наукова новизна отриманих здобувачем результатів полягає у наступному:

- розроблено математичну модель динаміки системи автоматичного регулювання обертів вільної турбіни турбовального газотурбінного двигуна, яка враховує нелінійні особливості гідромеханічного регулятора та дозволяє досліджувати динамічні процеси системи автоматичного регулювання дводвигуневої силової установки вертольоту;

- обґрунтовано закон регулювання завантаженням гідрогальмівної установки, призначеної для наземних випробувань турбовальних газотурбінних двигунів, що дозволяє моделювати засобами автоматизації динамічні параметри реальних об'єктів регулювання та більш коректно виконувати наземні випробування двигунів;

- сформульовано критерій схильності насоса-регулятора до розвитку автоколиваний у системі автоматичного регулювання обертів несучого гвинта вертольоту, який дозволяє вибракувувати агрегати на етапі приймально-здавальних випробувань заводу-виробника;

У процесі виконання роботи здобувачем виконано великій об'єм експериментальних досліджень на підставі яких **отримані нові дані** про:

- статичні характеристики гідромеханічного регулятора обертів вільної турбіни турбовального газотурбінного двигуна вертольоту, що дозволило класифікувати нелінійні особливості характеристик та усунути суперечність між реальними функціями регуляторів і їх математичним поданням в математичних моделях;

- завантажувальні характеристики гідрогальмівних установок випробувальних стендів турбовальних двигунів і завантажувальні характеристики несучих гвинтів вертольотів, що дозволило встановити відмінність динамічних параметрів гідрогальма і несучого гвинта як об'єктів регулювання;

- функції управляючого клапана гідроприводу типу "сопло-заслінка", що дозволило встановити причину незадовільної роботи гідроприводу основної дозуючої голки регулятора і розробити рекомендації по раціональній зміні конструкції клапана з метою поліпшення його характеристик.

Набули подальшого розвитку методи дослідження автоколиваний у складних динамічних системах. Розроблений метод вагових характеристик, суть якого полягає у подачі на вхід у досліджувану систему імпульсу певного виду, дозволив дослідити динаміку дводвигуневої силової установки вертольоту, яка описується системою диференціальних рівнянь шостого порядку.

Розроблені моделі й отримані на їх підставі результати є основою метода визначення і аналізу статичної характеристики регулятора обертів вільної турбіни насоса-регулятора який дозволяє прогнозувати схильність агрегату до розвитку автоколивань без виконання моторних випробувань.

Обґрунтованість і достовірність дослідження. Дисертація має високу ступінь обґрунтованості наукових положень і рекомендацій, а також достовірності досліджень, що підтверджується:

- використанням апробованих наукових положень й методів наукових досліджень, що застосовуються під час проектування нових і доведення існуючих систем автоматичного керування авіаційних ГТД, основоположних принципів теорії автоматичного управління;

- коректним застосуванням методів діалектичного і системного підходу, формалізації і моделювання, встановлення причинно-наслідкових зв'язків, структурно-функціонального аналізу і інших методологічних підходів;

- високим ступенем узгодження результатів розрахунків із даними фізичних експериментів, отриманих здобувачем в ході виконання дисертаційної роботи.

Надані у роботі статистичні дані довели, що розроблений метод аналізу статичних характеристик регулятора обертів вільної турбіни турбовального двигуна дозволяє з високою ефективністю вирішити поставлене в роботі наукове завдання.

Наукова та практична значущість отриманих результатів полягає у тому, що розроблені моделі, методи і критерії є науково-практичною основою для прогнозування схильності до розвитку автоколивань насосів-регуляторів типу НР-3 (ДП ХМЗ "ФЕД", Україна), що встановлюються на двигуни типу ТВ3-117 (АТ "Мотор Січ", Україна) без виконання моторних випробувань агрегатів, що дозволило скоротити, а в разі повного виконання розроблених рекомендацій – усунути повністю число рекламаций насосів-регуляторів НР-3 через розвиток автоколивань у системі автоматичного керування вертолітного двигуна типу ТВ3-117 під час наземних випробувань на гідрогальмівній установці (є відповідний акт впровадження). Наукові результати досліджень можуть бути використані провідними підприємствами авіаційної промисловості України під час проектування, випробувань і доведення систем автоматичного керування турбовальних газотурбінних двигунів.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації достатньо повно викладені в авторефераті та опублікованих працях. Автореферат дисертації відповідає її змісту то повністю відображає основні положення і результати дослідження. Дисертацію та автореферат оформлено відповідно до встановлених МОН України вимог.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційному дослідженні, досить повно викладено у 25 наукових статтях, з яких 23 статті опубліковано у наукових фахових виданнях України (з них 2 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз Scopus), 2 – у закордонних фахових виданнях (1 – у виданні, включеному до міжнародних наукометричних баз Scopus). Зміст публікацій, викладених у наукових

фахових виданнях, відповідає тексту дисертації.

Оформлення дисертації та автореферату дисертації Литвяка О.М. відповідає тим вимогам, які висуваються до такого роду робіт. Структурно дослідження побудовано логічно, розділи і підрозділи взаємопов'язані між собою. Вибрана структура дисертації дозволила здобувачу послідовно і системно висвітлити широкий спектр питань, які стосуються динамічних процесів в системі автоматичного керування турбовального газотурбінного двигуна вертольоту. Автор послідовно та методично виклав результати досліджень, правильно співвідносячи загальні та конкретні питання. В цілому дослідження виконане на належному рівні.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності. Подана дисертація відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня, а також відзначається логічністю, структурованістю та обґрунтованістю. Структура дисертації цілком узгоджується з її темою, метою і задачами дослідження. Зміст та результати роботи відповідають спеціальності 05.13.03 – Системи та процеси керування.

Рекомендації щодо використання результатів дисертації. Впровадження отриманих в дисертаційній роботі нових наукових результатів в практичні розробки гідромеханічних систем автоматичного керування, дозволить підвищити ефективність проектування та скоротити час доведення агрегатів. Результати роботи можуть бути реалізовані у процесі створення автоматизованих систем проектування гідромеханічних систем автоматичного керування, а також під час проектування пневмо- і гідроприводів.

Оцінка змісту дисертації, й її завершеності. Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Обсяг дисертаційної роботи відповідає нормам, встановленим для докторських дисертацій з технічних наук. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві.

Дисертація написана грамотною науковою мовою та оформлена відповідно до існуючих нормативних документів, текст і графічний матеріал виконані акуратно з використанням комп'ютерної техніки.

У *вступі* зазначено актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі досліджень, заявлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, представлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, особистий внесок здобувача, перелік публікацій і апробації результатів. Підкреслено невирішеність проблеми розвитку автоколивань у системі автоматичного регулювання обертів вільної турбіни турбовального газотурбінного двигуна.

У *основній частині роботи* автором послідовно розглянуті нижче перераховані питання, котрі загалом дозволили досягнути поставленої мети і вирішити сформульовані здобувачем задачі.

У *першому розділі* проведено аналіз стану проблеми виникнення і усунення автоколивань у системі автоматичного регулювання обертів несучого гвинта вертольоту під час його наземних випробувань на гідрогальмівної установці, та у процесі льотної експлуатації у складі

дводвигуневої установки вертольоту. Показано, що у процесі наземних випробувань двигуна на гідрогальмівної установці об'єкт регулювання відрізняється від об'єкта регулювання під час льотних випробувань двигунів у складі дводвигуневої силової установці вертольоту. Виявлено суперечності функцій елементів систем автоматичного регулювання у математичних моделях. Показано зв'язок дослідження динамічних процесів в системі автоматичного керування турбовального газотурбінного двигуна з іншими сферами науки і техніки.

У *другому розділі* представлено результати експериментальних досліджень елементів системи автоматичного регулювання обертів вільної турбіни турбовального двигуна вертольоту, отриманих автором під час виконання дисертаційних досліджень, саме: статичні характеристики гідромеханічного регулятора обертів вільної турбіни; статичні характеристики керуючого клапана типу "сопло-заслінка" гідравлічного посилюючого пристрою; завантажувальні характеристики гідрогальмівної установки і несучого гвинта вертольоту. Аналіз результатів досліджень дозволив встановити: характерні особливості характеристик регулятора обертів як "розриви" і "злами"; розкид коефіцієнту витрати керуючого клапана в робочому діапазоні положень заслінки; відмінність за динамічними параметрами гідрогальма і несучого гвинта вертольоту як об'єктів регулювання.

У *третьому розділі* надано математичну модель динаміки системі автоматичного регулювання обертів вільної турбіни під час випробувань турбовального двигуна на гідрогальмівній установці і розроблену математичну модель дводвигуневої силової установки вертольоту, які відрізняються від відомих урахуванням нелінійних особливостей регулятора, виявлених у процесі експериментальних досліджень.

В *четвертому розділі* досліджено динамічні процеси у системі автоматичного регулювання обертів вільної турбіни турбовального газотурбінного двигуна як під час його наземних випробувань на гідрогальмівній установці так й у складі дводвигуневої силової установки вертольоту. Отримані данні дозволили встановити критерій який дозволяє прогнозувати схильність гідромеханічного насоса-регулятора до розвитку автоколиваний без виконання моторних випробувань.

В *п'ятому розділі* представлено нелінійну поелементну математичну модель статичних характеристик гідромеханічного регулятора обертів турбовального газотурбінного двигуна з урахуванням нових даних, отриманих під час експериментальних досліджень.

В *шостому розділі* надано обґрунтування напрямів підвищення стійкості до розвитку автоколиваний досліджуваної автоматичної системи під час наземних випробувань на гідрогальмівній установці шляхом моделювання динамічних параметрів несучого гвинта вертольоту засобами автоматизації, а також шляхом поліпшення характеристик гідромеханічного регулятора обертів вільної турбіни раціональною зміною налаштувань і конструктивних чинників регулятора.

Зауваження і дискусійні положення. Між тим, на тлі досягнень автора, слід зазначити відзначити ряд зауважень:

1. У вступі не достатньо висвітлені міри провідних авіаційних підприємств по усуненню автоколивань в системі автоматичного регулювання обертів несучого гвинта вертольотів з двигунами типу ТВЗ-117 (стор. 24), а також не наведено посилання (стор. 29, 30) на Акти впровадження результатів досліджень здобувача, які наведені в Додатках до роботи. Крім цього, впровадження результатів досліджень здобувача на АТ "Мотор Січ" підтверджується лише Протоколами (Додаток).

2. Характеристики різноманітних несучих гвинтів мають суттєві відмінності. В дисертаційних дослідженнях надано завантажувальні характеристики тільки несучого гвинта вертольоту Мі-8. Дані про завантажувальні характеристики вертольотів типу Мі-24 і Ка-32 з аналогічними типами двигунів ТВЗ-117 – відсутні (розділ 2, п.р. 2.3).

3. В розділі 3 (п.р. 3.2.2) надано алгоритм визначення динамічних параметрів турбокомпресора: постійної часу і коефіцієнта підсилення, але розрахункових даних зазначених параметрів не представлено.

4. В розділі 4 при аналізі впливу різноманітних факторів на межу автоколивань не надано аналізу розвитку автоколивань в системі автоматичного регулювання обертів несучого гвинта вертольоту в умовах літньої і зимової експлуатації (розділ 4).

5. Розроблений метод аналізу динамічних процесів в системі автоматичного керування розглянутий на прикладі турбовального газотурбінного двигуна ТВЗ-117. Але автоматичну систему керування зазначеного двигуна виконано по електронно-гідромеханічній схемі. Роль електронного регулятора двигуна ЕРД-3 у динамічних процесах не розглянуто.

6. У висновках по роботі (стор. 303-307) недостатньо уваги приділено результатам щодо методів дослідження автоколивань у складних динамічних системах стосовно динаміки дводвигуневої силової установки вертольоту, хоча це подається автором як елемент новизни (стор. 27).

7. В авторефераті дисертації автором у більшості випадків наведені результати досліджень, при цьому опису математичних моделей та методикам експериментальних досліджень, які дозволили отримати результати, на які спирається автор, приділено недостатньо уваги (стор. 8-16).

Висловлені зауваження не перешкоджають позитивному ставленню до виконаної роботи, а здійснений дисертантом великій об'єм експериментальних досліджень заслуговує на повагу і безумовну підтримку.

Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи випадків порушення академічної доброчесності виявлено не було.

Висновок.

Дисертаційна робота вирішує актуальну науково-прикладну проблему, містить раніше не захищені положення, які є особистими здобутками автора, мають практичну цінність і позитивне значення для подальшого розвитку науки в галузі систем управління складними динамічними об'єктами.

Вважаю, що за актуальністю, науковим рівнем розробок, практичною

цінністю, наявністю необхідної кількості публікацій та їх обсягом дисертаційна робота Литвяка О.М. відповідає вимогам п.п. 9, 10 і 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 (зі змінами), відповідає паспорту спеціальності 05.13.03 – Системи та процеси керування.

Литвяк Олександр Миколайович гідний присудження наукового ступеню доктор технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – Системи та процеси керування.

Офіційний опонент

заступник начальника Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки з наукової роботи доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Володимир ДМИТРИЄВ

“ 17 ” 06 2021 року

Підпис В.А.Дмитрієва засвідчую

ТВО начальника відділу персоналу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

Денис ХРОПАТИЙ

“ 17 ” 06 2021 року

