

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Шестакова Олексія Олександровича «Математичне моделювання гідравлічних процесів у повітряно-теплових протикригових системах при критичних та близьких до критичних режимах течії», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 — «Математичне моделювання та обчислювальні методи»

На експертизу представлена дисертаційна робота загальним обсягом 217 сторінок; автореферат загальним обсягом 22 сторінки, опубліковані за темою дисертації 11 друкованих праць.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Зважаючи на жорстку конкуренцію на ринку літакобудування, перед розробниками конструкцій літака постає питання постійного покращення характеристик літаків, у тому числі збільшення їх енергоефективності. Так, відбір повітря від маршових двигунів сучасних літаків значно впливає на їх потужність та економічність. Одним з основних споживачів повітря є повітряно-теплова протикригова система (ПТ ПКС), яка забезпечує підведення необхідної кількості тепла до заданої поверхні. Відповідно зменшення кількості повітря, що відбирається від маршового двигуна на потреби ПТ ПКС, при збереженні її ефективної роботи, є актуальною технічною задачею.

Кількість повітря для ефективної роботи ПТ ПКС визначається на основі теплового розрахунку, в ході якого встановлюється необхідна величина теплового потоку в кожній з її ділянок. Фактичне значення кількості повітря, що поступає на кожну з ділянок через роздатковий трубопровід (РТ), визначається на основі результатів гідравлічних розрахунків РТ. На даний час відомо ряд моделей розрахунку РТ, на основі яких сумарна кількість повітря через РТ при критичних та близьких до критичних режимах течії визначається з похибкою порядку 30-50%. Ще більш грубими є оцінки розподілу повітря вздовж трубопроводу по ділянках. У зв'язку з цим, для гарантії безпеки польотів в умовах обледеніння, кількість повітря, що відбирається від двигуна на потреби ПТ ПКС, при проектуванні системи розраховується з запасом. Зважаючи на це, актуальною є проблема розробки математичних моделей різних елементів ПТ ПКС, які б дозволили зменшити похибку розрахунку.

Отже, дисертаційна робота Шестакова О. О. присвячена вирішенню актуального завдання – розробці математичних моделей елементів гідравлічної розподільчої мережі (ГРМ) ПТ ПКС та системи в цілому, які б адекватно описували втрати тиску у всьому експлуатаційному діапазоні роботи ПТ ПКС з похибкою, співрозмірною з похибкою пристроїв, які використовуються при замірах, та визначали сумарну кількість повітря, що поступає в РТ, і його розподіл вздовж роздаткового трубопроводу, що дозволило б підвищити енергоефективність маршових силових установок літака.

На користь актуальності дисертаційних досліджень свідчить і те, що дисертаційна робота виконана відповідно до «Державної комплексної програми розвитку авіаційної промисловості в Україні до 2010 року», затвердженої Постановою Кабінету міністрів України від 12.12.2001 р. № 1665-25. Дослідження проводилися в рамках експериментальних і науково-дослідницьких робіт зі створення літака АН 148 – 200 на АНТК ім. О. К. Антонова. В роботі наведено дані про ці теми.

2. Основні результати та наукова новизна дисертаційних досліджень

У дисертаційній роботі Шестакова О. О. розглянуто важливе науково-практичне завдання розробки математичної моделі ГРМ ПТ ПКС, що адекватно відображає фізичні процеси, які відбуваються в роздаткових трубопроводах при критичному та близькому до критичного перепадах тиску на вихідних отворах, і яка може використовуватися в інженерних розрахунках при проектуванні РТ.

Зокрема, автором отримано наступні наукові результати.

1. Запропоновано математичну модель РТ, як основного елемента ГРМ ПТ ПКС, яка на відміну від відомих заснована на моделі одновимірного руху з тертям стислої рідини в трубі постійного перетину при постійній повній температурі, де для визначення втрат повного тиску використовується коефіцієнт гідравлічного опору, розрахований для нестискуваної рідини (метод приведеної довжини). Використання запропонованої моделі РТ при проектуванні ПТ ПКС дозволяє забезпечити надходження потрібної кількості повітря в заданий об'єм ПТ ПКС в усіх режимах функціонування системи, за рахунок чого зменшується кількість необхідного для ПТ ПКС повітря та підвищується енергоефективність літака.

2. Вперше отримано математичний опис гідравлічних процесів для вихідного отвору РТ, як особливого виду трійника для випадків транзитного потоку стискуваної рідини і без нього, який дозволяє отримати коректні результати розрахунків у всьому діапазоні швидкості повітря на вихідному отворі. Визначено фактори, що впливають на величину коефіцієнта гідравлічного опору, на підставі яких отримана математична залежність для коефіцієнта опору та одержані числові коефіцієнти. З урахуванням експериментальних даних визначено область її застосування, що охоплює весь діапазон роботи ПТ ПКС та дає змогу визначати необхідні діаметри вихідних отворів.

3. Вперше запропоновано математичну модель гідравлічних процесів в елементі «раптове розширення каналу», в якій раптове розширення замінюється множиною n раптових розширень з площею перетину, що рівномірно збільшується, де у випадку нестискуваної рідини забезпечується рівність сумарного коефіцієнта опору для загального раптового розширення, розрахованого згідно з формулою Бордо-Карно. Використання даної (всережимної) математичної моделі забезпечує коректне моделювання гідравлічних процесів в цих елементах для усіх режимів течії включно з критичними, що значно розширює область її застосування.

4. Розроблено математичну модель гідравлічних процесів у запропонованому витратовимірному пристрої (ВП), призначеному для вимірювання витрат стискуваної рідини, яка витікає з близько розташованих вихідних отворів РТ при критичному та близькому до критичного перепаді тиску на них, на основі якої отримано витратні (тарувальні) характеристики. На підставі вимірювання витрат за допомогою ВП на всіх отворах РТ експериментально підтверджено, що похибка сумарного значення витрат повітря не перевищує 2% від величини витрат, виміряних сертифікованою трубкою Вентурі.

Отримані дисертантом результати є новими науковими знаннями і дають змогу ефективно моделювати гідравлічні процеси у повітряно-теплових протикригових системах при критичних та близьких до критичних режимах течії. Зазначені вище елементи наукової новизни дисертаційних досліджень вказують на те, що кандидатська дисертація Шестакова О. О. відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – «Математичне моделювання та обчислювальні методи», а також вимогам пп. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника».

3. Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Основна мета дослідження визначена чітко і зрозуміло. Розглянуто та проаналізовано джерела наукової літератури, як вітчизняних, так і зарубіжних вчених (94 найменування у списку використаних джерел), досліджено поточний стан проблеми моделювання гідравлічних процесів у протикригових системах. Аргументовано використані відомі наукові методи обґрунтування отриманих результатів, висновків і рекомендацій.

Аналіз змісту дисертації дає підстави для висновку, що поставлені завдання дослідження виконано. Проведена значна теоретична робота, спрямована на розробку і наукове обґрунтування моделей, методів та алгоритмів моделювання описаних процесів. Теоретичні результати з необхідною точністю узгоджуються з даними натурних експериментів, отриманими під час виконання досліджень. Основні положення, висновки та рекомендації підтверджуються також результатами практичного використання і відповідним актом впровадження у промислове використання.

4. Достовірність наукових результатів

Результати проведених експериментів підтверджують достовірність отриманих результатів моделювання. У роботі наведено описи гідравлічних стендів, що використовувалися для визначення коефіцієнтів гідравлічних витрат при витіканні повітря з РТ з і без наявності транзитного потоку повітря. Також у роботі наявний акт проведених випробувань розробленого розрахункового модуля гідравлічного розрахунку ГРМ ПТ ПКС та комп'ютерної програми

інженерних розрахунків РТ. Проведений аналіз запропонованих автором моделей та методів дає змогу зробити висновок про реальне підвищення ефективності моделювання гідравлічних процесів у повітряно-теплових протикригових системах літаків.

Результати дисертаційного дослідження були апробовані на п'яти конференціях та отримали підтримку науковців з даного напрямку досліджень.

Наукові положення характеризуються єдністю змісту і свідчать про особистий внесок здобувача в розвиток методів моделювання складних гідравлічних процесів.

5. Практична цінність результатів роботи

Розроблена в роботі математична модель раптового розширення каналу має велике практичне значення, оскільки подібні елементи часто зустрічаються у повітряних мережах літака і правильний розрахунок падіння тиску на них впливає на конструктивні рішення при проектуванні системи та взагалі на систему керування.

Запропонована модель РТ при проектуванні ПТ ПКС дозволяє зменшити кількість повітря, необхідного для ПТ ПКС, при збереженні її ефективності. Для літаків типу АН-148 / АН-158 це складає майже 30%, що покращує їх енергоефективність.

Створений розрахунковий модуль гідравлічного розрахунку ГРМ ПТ ПКС інтегровано в програмний комплекс розрахунку ГРМ систем кондиціонування повітря. Також в результаті виконання роботи створено автономну комп'ютерну програму, яка використовується відповідними спеціалістами при інженерних розрахунках РТ.

Спроектовано ВП для виміру витрат стиснутої рідини, що витікає з вихідних отворів РТ, при критичному та близькому до критичного перепаді тиску, для якого, на основі розробленої математичної моделі витратовимірного пристрою, отримано гідравлічну витратну характеристику. При відповідному підборі вихідних трубок на ВП профіль швидкості потоку, що виходить з отвору, не деформується, і при цьому досягається потрібна для інженерних розрахунків точність.

Результати роботи використовувались при розробці ПТ ПКС планера літаків АН – 158, АН – 178 и АН – 132, а також при розробці ПТ ПКС двигуна АН – 70 та систем кондиціонування літаків АН – 178, АН – 132 на АНТК ім. О. К. Антонова, про що свідчать відповідні документи, наведені в додатку.

6. Повнота представлення основних наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих роботах

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційного дослідження повною мірою відображені в опублікованих роботах. За результатами дисертаційної роботи здійснено 11 публікацій: п'ять – у провідних фахових виданнях, одна – у зарубіжному журналі і ще одна – у журналі, що індексується

міжнародними наукометричними базами даних; чотири публікації у збірниках матеріалів і тез конференцій. Загалом публікації відображають пріоритети автора дисертації в розв'язанні наукових і прикладних задач напряму математичного моделювання.

Зміст та кількість публікацій Шестакова О. О., повнота відображення в них результатів дисертаційного дослідження відповідають існуючим вимогам (п. 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», «Вимогам до опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», п. 2.2 Наказу від 17.10.2012 № 1112 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук»).

7. Відповідність автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації. Автореферат містить основні положення, висновки і рекомендації, приведені в дисертації, а також всю необхідну для оцінки роботи інформацію.

Оформлення автореферату відповідає вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій в Україні.

8. Зауваження до змісту та оформлення дисертації та автореферату

1. В авторефераті не відображено факт того, що для забезпечення точності вимірювань витратовимірним пристроєм використовується ряд вихідних трубок різного діаметру, про що йдеться в дисертації.

2. У дисертаційній роботі є посилання на узагальненні твердження інших науковців без приведення літератури, де ці твердження були висловлені, наприклад ст. 15 «Практически все исследователи, в своих работах, различают два основных момента при расчёте РТ...», ст. 50 «...при этом гидравлические характеристики большинства КЭ хорошо изучены и приведены в многочисленных источниках.», ст. 51 «...коэффициенты гидравлического сопротивления, приведенные в литературе, получены...».

3. У розділі 2 дисертаційної роботи майже усюди відсутні посилання на джерело формул, наприклад запис закону Кірхгофа, рівняння Бернуллі тощо.

4. У підрозділі 2.3 «Математические модели второй группы конструктивных элементов ГРС ВТ ПОС» дисертаційної роботи не описано жодної математичної моделі.

5. Третій розділ дисертації перевантажено матеріалами щодо опису планування експерименту, типів похибок та методів обробки експериментальних.

6. У третьому розділі дисертаційної роботи наявне розбиття інформації на підпункти п'ятого (наприклад, 3.4.1.5.3) та шостого (3.4.2.6.1.1) рівнів, які ускладнюють розуміння матеріалу та для використання яких немає підґрунтя.

7. Висновки до дисертаційної роботи не у повній мірі відображають поставлені завдання дослідження. Так, з висновків не зрозуміло, чи було проведено аналіз існуючих математичних моделей, що описують гідравлічні

процеси в елементах ПТ ПКС, та чинників, що впливають на втрату тиску при раптовому розширенні каналу і при виході потоку з вихідних отворів РТ, хоча в тексті дисертації зазначений аналіз було проведено.

8. Вступ та висновки в дисертації та авторефераті не співпадають. Наприклад, в дисертації зазначено п'ять елементів практичного значення, а в авторефераті лише чотири; наукова новизна отриманих результатів та висновки у дисертації відображені набагато ширше ніж у авторефераті. Останній пункт висновків майже повністю не співпадає у дисертації та авторефераті.

9. В тексті автореферату та дисертації наявні орфографічні, пунктуаційні та стилістичні помилки.

Висновок

Дисертаційна робота Шестакова Олексія Олександровича «Математичне моделювання гідравлічних процесів у повітряно-теплових протикригових системах при критичних та близьких до критичних режимах течії» є завершеним науковим дослідженням, у якому поставлена та вирішена складна науково-практична задача. Наукові результати одержані автором самостійно і мають наукову новизну та практичне значення для розвитку методів та засобів математичного моделювання гідравлічних процесів в складних технологічних системах.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 — «Математичне моделювання та обчислювальні методи».

Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи. Повнота відображення результатів дисертаційних досліджень у публікаціях та їхня кількість відповідають вимогам чинного законодавства України.

Наведені зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертаційної роботи.

Робота відповідає чинним вимогам пп. 9, 11, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо кандидатських дисертацій, а її автор Шестаков Олексій Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 — «Математичне моделювання та обчислювальні методи».

Офіційний опонент

доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», кандидат технічних наук



І. Ю. Михайлова