

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента на дисертаційну роботу Павлової Катерини Сергіївни «Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки», представлену на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія, спеціальності 134 – Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Актуальність дослідження

Робота направлена на розробку фізико-математичної моделі фізичного процесу нестационарної течії бульбашкової рідини в системах керування літальних апаратів, що пов'язано з підвищенням вимог до безпеки польотів. Розглянуто функціональні системи прибирання та випускання шасі літака та системи керування механізацією крила, в яких на сучасному етапі нелінійні процеси апроксимують лінійними математичними моделями, а лінійні моделі і математичні задачі, які їм відповідають, розв'язуються чисельно, що спричинює збільшення проміжку часу, необхідного для якісного керування літальних апаратів. Метою дослідження є отримання класичним методом додаткового диференціювання рівнянь системи з наступним виключенням невідомих величин, аналітичного розв'язку нелінійної задачі взаємодії нестационарної течії і пружної структури. Основна увага дослідження приділена спільному урахуванню в рівнянні трьох компонентів, які, з математичної точки зору, є нелінійними механізмами передачі кількості руху – збереження кількості руху конвективного прискорення в рідині, стационарного і нестационарного тертя рідини о стінки структури (труби). Урахування зазначених компонентів в рецензованій роботі здійснено через ряд кроків в напрямку адекватного моделювання та розробки нових моделей фізичних процесів.

Таким чином, дослідження нестационарних процесів руху рідини в функціональних системах повітряних суден та розробка моделі нестационарної течії бульбашкової рідини та взаємодія цієї течії зі структурою, є, безумовно, актуальним напрямком.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень

Обґрунтованість наукових положень, висновків та практичних рекомендацій обумовлена аналізом та теоретичним узагальненням широкого кола наукових праць вітчизняних та закордонних авторів. Достовірність основних положень роботи підтверджується: здійсненням дослідження із фаховим послідовним застосуванням загальновизнаних наукових методів; позитивною оцінкою наукових праць у рецензованих фахових виданнях; апробацією результатів досліджень на міжнародних конференціях.

На підставі усього вищезазначеного, впливає позитивний висновок щодо обґрунтованості і достовірності основних положень представлених в роботі досліджень, а також їх відповідності заявленим меті та завданням.

Оцінка новизни наукових результатів дисертаційного дослідження

Науковою новизною одержаних результатів слід вважати наступні положення:

1. *Вперше:* враховано процеси конвекції, тертя, залежність молекулярної

в'язкості в аналітичній моделі нестационарної течії (гідравлічний удар) крапельної рідини; отримано аналітичну функціональну залежність поля тиску від швидкості поширення ударного імпульсу; розроблено аналітичну модель, що описує взаємодію нестационарної течії бульбашкової рідини зі структурою з урахуванням переходу до автотельної змінної.

2. *Удосконалено*: модель взаємодії нестационарної течії крапельної рідини зі структурою – твердим деформованим тілом; математичну модель процесу випускання та прибирання шасі літака; математичну модель роботи об'ємного гідроприводу; математичну модель первинного контролю закриттями літака.

3. *Отримали подальший розвиток теорії*: гідравлічного удару у крапельній рідині з урахуванням конвекції та в'язкості; гідравлічного удару у бульбашковій рідині з урахуванням лінійної моделі, яка враховує нелінійні ефекти конвекції та тертя; взаємодії нестационарної течії крапельної та бульбашкової рідини зі структурою з комплексним урахуванням конвекції поля швидкості, стаціонарного та нестационарного тертя.

Практична цінність отриманих результатів

Практичне значення дослідження полягає у тому, що в запропонованих автором моделях враховано нестационарність течій рідини (гідравлічний удар) шляхом сумісного використання ефектів конвекції та тертя. Доведено, що процеси конвекції та тертя важливі для опису бульбашкової рідини, яка за фізичними параметрами відповідає робочій рідині при експлуатації функціональних систем прибирання та випускання шасі літака та систем керування механізацією крила повітряних суден.

На підставі отриманих аналітичних розв'язків в роботі доведено, що рух штоку гідроциліндра відповідає одному з можливих типів нестационарної течії рідини (ударним імпульсом), що спричинює необхідність врахування процесу формування нестационарних течій в гідравлічних системах літаків і вертольотів.

Отримані нелінійні моделі взаємодії нестационарного руху рідини (ударний імпульс) з урахуванням в моделях первинного контролю літака направлені на підвищення точності керування при польоті.

Результати дисертаційного дослідження рекомендовано до впровадження в авіабудівництві при проектуванні гідравлічних систем літаків та вертольотів, систем керування механізацією крила та інших функціональних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів науково-дослідної роботи та навчальної роботи і відповідає тематичній спрямованості наукових розробок, що здійснювалися на кафедрі гідрогазових систем: «Дослідження фізичних процесів в гідравлічних і пневматичних пристроях та елементах конструкцій рідинно-газових систем літальних апаратів» (державний реєстраційний номер 0122U201453).

Результати дисертаційних досліджень впроваджені в навчальний процес на кафедрах гідрогазових систем та конструкцій літальних апаратів, що підтверджено актом впровадження результатів в лабораторний практикум з курсу «Моделювання та розрахунок робочих процесів в рідинно-газових системах літальних апаратів» та довідкою про впровадження результатів дослідження у

тематичному плані «Гідравлічний удар» навчальної дисципліни «Гідравліка та гідропневмопристрої авіаційної техніки»

Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях

Наукові результати дисертації висвітлені у 4 статтях, опублікованих у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»). Результати дослідження апробовані на 7 науково-технічних конференціях та реалізовані в науково-технічних розробках. Кількість та якість наукових публікацій Павлової Катерини відповідає вимогам п.8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота має добре структуровану побудову та складається з вступу, чотирьох розділів, кожен з яких детально висвітлює окремі аспекти дослідження, висновків, додатку та списку використаних джерел.

У вступі дисертантом викладено актуальність теми дослідження, його зв'язок із науковими програмами. Мета роботи відповідає сформульованій темі і визначена в завданнях. Чітко визначено предмет і об'єкт дослідження. Вказано на наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

В першому розділі розкрито питання кінематики та динаміки випускання та прибирання шасі літака, розглянуто систему первинного контролю польотом малого літака, проаналізовано особливості нестационарної течії рідини та представлено взаємодію нестационарної течії зі структурою в гідравлічній системі літаків і вертольотів, наведено різні підходи у моделі взаємодії нестационарного течії з пружною оболонкою.

У другому розділі розглянуто нелінійну динаміку в системі первинного контролю літака. Проаналізована нелінійна модель кінематики та динаміки випуску передньої шасі літака в складних погодних умовах. Розглянуто основні аспекти урахування нелінійності в кінематиці моделі системи первинного контролю закритками. Наведено аналітичний розв'язок повного лінійного рівняння гідроприводу з об'ємним регулюванням. Проаналізовано основні процеси руху поршня гідроциліндру під час гідродудару.

В третьому розділі наведено результати моделювання формування нестационарної течії рідини в гідравлічній системі літаків і вертольотів, представлено модель гідравлічного удару, яка враховує конвекцію поля швидкості, розглянуто вплив стаціонарного тертя на загальну картину поширення ударної хвилі, проаналізовано поширення ударної хвилі в бульбашковій рідині без урахування тертя та з урахуванням тертя на межі рідина-стінка труби, представлено математичну модель нестационарної течії крапельної рідини за наявності в ній невеликої фракції бульбашок газу.

В четвертому розділі представлена нелінійна модель взаємодії нестационарної течії рідини зі структурою в гідравлічних системах літаків і вертольотів. Наведено автотельний розв'язок лінійної моделі взаємодії нестационарної течії рідини із пружною оболонкою, узагальнену модель взаємодії

течії зі структурою: урахування конвекції, стаціонарного та нестаціонарного тертя. Розроблено механізм формування ударного імпульсу, наведено авто модельні рівняння та їх розв'язки. Проаналізовано вплив конвекції та тертя на взаємодію нестаціонарної течії зі структурою, стандартного та нестандартного підходів врахування конвекції, стаціонарного та нестаціонарного тертя у моделі взаємодії нестаціонарної течії з пружною оболонкою.

В цілому виклад матеріалу послідовний і логічний. Автор демонструє високий рівень володіння спеціальною термінологією та глибоке розуміння предметної області, що свідчить про високий науковий рівень роботи. Загальні висновки відповідають поставленим науковим завданням і є змістовними. Робота є завершеною самостійною науковою працею.

Дисертаційна робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. Використані у роботі ідеї та результати інших авторів належним чином цитовані, що свідчить про високий рівень наукової етики здобувача. Звіт про подібність підтверджує оригінальність дисертації, що є важливим показником академічної доброчесності здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. В роботі застосовані терміни, яких бажано уникати: стаціонарне та нестаціонарне тертя – тертя в стаціонарних та нестаціонарних умовах, сухе тертя – тертя без мастильного матеріалу, гідродинамічне тертя – гідродинамічний режим мащення. Бажано б дати пояснення вживаному в роботі терміну «прокладочне тертя» (стор. 28).

2. У третьому розділі в представлених авто модельних рівняннях та їх розв'язках, що описують явище гідравлічного удару, не зазначено за яких граничних умов проведено розрахунки. Бажано б зазначити яке число Рейнольдса при переході від ламинарного до турбулентного режиму течії при ударі. Прошу дати пояснення «відношення молекулярної в'язкості до в'язкості на стінках труби».

3. В четвертому розділі не достатньо обґрунтовано виключення швидкості, напруження та тиску з систем рівнянь (4.2) – (4.7), оскільки рівняння (4.9) може врахувати поширення ударного імпульсу, що спричинить пружньо-пластичну деформацію стінки та появу градієнту швидкості зсуву.

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 Павлової Катерини Сергіївни на тему «Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки», є завершеним науковим дослідженням, що виконане на високому науковому рівні. Робота відповідає всім вимогам щодо академічної доброчесності, актуальна, має практичну цінність.

За рівнем наукової новизни, якістю досліджень, достовірністю та обґрунтованістю висновків дисертація Павлової Катерини Сергіївни на тему «Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-

космічної техніки» відповідає галузі 13 – Механічна інженерія, спеціальності 134 – Авіаційна та ракетно-космічна техніка і чинним вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ № 44 від 12.01.2022 р., а її автор, Павлова Катерина Сергіївна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 — Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Рецензент:

Завідувач кафедри прикладної
механіки та інженерії матеріалів
Державного університету
«Київський авіаційний інститут»,
доктор технічних наук, професор



Оксана МІКОСЯНЧИК

Лідиса Мікосянчик
Вчений секретар



Ганна Лабак