

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. президента державного некомерційного підприємства “Державний університет “Київський авіаційний інститут”



Ксенія СЕМЕНОВА

Березня 2025 року

ВИСНОВОК

Державного некомерційного підприємства “Державний університет “Київський авіаційний інститут” (далі – КАІ) про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Павлової Катерини Сергіївни на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка” на тему “Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки”

ВИТЯГ

із протоколу № 2 розширеного засідання
кафедри гідро газових систем
Аерокосмічного факультету Державного некомерційного підприємства
“Державний університет “Київський авіаційний інститут”
від 5 березня 2025 року

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники кафедри гідро газових систем:

Бадах В.М., к.т.н., с.н.с., завідувач кафедри;
Дубковецкий І.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри (суміс.);
Лук'янов П.В., к.ф.-м.н., с.н.с., доцент кафедри;
Макаренко Р.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Сивашенко Т.І., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Тарасенко Т.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Єременко Р.О., магістр, асистент кафедри.

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники інших кафедр КАІ:

Ігнатович С.Р., д.т.н., проф., професор кафедри конструкцій літальних апаратів;
Карускевич М.В., д.т.н., проф., професор кафедри конструкцій літальних апаратів;

Микосянчик О.О., д.т.н., проф., завідувач кафедрою прикладної механіки та інженерії матеріалів;

Балалаєва К.В. д.т.н., доц. кафедри авіаційних двигунів;

Єнчев С.В., д.т.н., проф., завідувач кафедрою автоматизації та енергоменеджменту.

Слухали:

Доповідь здобувача кафедри гідро газових систем КАІ Павлової Катерини Сергіївни на тему “Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки”, подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 “Механічна інженерія”, за спеціальністю 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка”.

Тему дисертаційного дослідження “Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки” затверджено на засіданні Вченої ради Аерокосмічного факультету “26” листопада 2021 року, протокол № 11.

Науковий керівник Лук'янов П. В., к.ф.-м.н., с.н.с., доцент кафедри гідро газових систем КАІ.

Доповідачка обґрунтувала актуальність обраної теми, визначила мету, завдання, методи дослідження, охарактеризувала об'єкт та предмет дисертації, виклала основні наукові положення та висновки, що виносяться на захист, вказала основні наукові та практичні результати, надала інформацію про впровадження результатів дослідження.

Авторкою зазначено, що однією з важливих проблем в галузі авіаційної та ракетно-космічної техніки є необхідність вдосконалення методів та процедур щодо моделювання та розрахунку процесів обтікання поверхні літального апарату, що дозволяє підвищити якість літального апарату та зменшити терміни проектування нових зразків літальних апаратів. Актуальність проведеного дослідження полягає у створенні нового підходу щодо опису течії в примежовому шарі, якій утворюється в рідині при обтіканні поверхні рухомого тіла (наприклад літака). Цей підхід дозволяє пряме використання рівнянь Нав'є-Стокса щодо опису примежового шару – без використання спеціальних теорій. Підставою для цього є відхід від помилкового припущення про незалежність молекулярної в'язкості від просторових координат усюди, включаючи і примежовий шар.

Дисертантка проаналізувала основні існуючі на сьогодні основні недоліки в моделюванні фізичних процесів, зокрема як спрощення фізичних процесів, так і не обґрунтоване використання спрощених математичних моделей. Вона зазначила, що зростаючі вимоги до точності в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки потребують подальшого вдосконалення існуючих моделей та розробки нових, які більш точно враховують природу фізичних процесів, що відбуваються під час роботи зазначених систем.

Авторка вдосконалила існуючі моделі щодо процесів випускання та прибирання шасі літака, процесу керування закрилками. Так, процес випускання та прибирання шасі вже не розглядається на рівні алгебраїчної моделі, яка дає змогу лише визначати величини у крайніх точках положення шасі, а на рівні

диференціальної моделі, яка дозволяє отримати дані у кожному мить. Очевидно, що тепер процесом руху шасі літака можна вже керувати: у кожному момент часу задавати потрібне навантаження на шток приводу. Це дало змогу розглянути додаткові чинники, зокрема різкий поривчастий вітер та дуже швидке обледеніння шасі під час його випускання.

Практика свідчить, що під час процесу випускання-прибирання шасі відбуваються помітні коливання (вібрації) системи. Їх природа – нестационарна течія робочої рідини, простими словами явище гідроудару. Отже, подальше вдосконалення моделей, що описують системи керування, які мають гідравлічний привод, неминуче пов'язане із фізичним процесом – гідравлічним ударом, що є різновидом нестационарної течії в рідині.

Авторка удосконалила існуючі моделі гідравлічного удару в крапельній рідині, зосередивши увагу на важливості урахування тертя рідини о стінку та конвекції полів фізичних величин (швидкості, тиску, густини).

Авторка запропонувала нелінійну модель гідравлічного удару в бульбашковій рідині. В цій моделі збурення тиску не є відносно малими.

Запропонована модель взаємодії нестационарної течії рідини із конструкцією (структурою). Обернений вплив конструкції на рідину проявляється за рахунок стисливості бульбашок газу в рідині.

Розроблені методи та процедури надають практичні можливості для більш точного моделювання фізичних процесів при застосуванні сучасних програмних комплексів тривимірного моделювання та розрахунку складних задач, серед яких є нестационарна течія рідини та є взаємодія із конструкцією.

Структура та обсяг дисертації зумовлена метою і логістикою дослідження та складається з анотації державною та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

Запитання до здобувача:

1. Ігнатович С.Р., д.т.н., проф., професор кафедри конструкцій літальних апаратів;

Запитання: Скажіть, будь ласка, як об'єднуються у Вашій роботі розділ 2, де розглянуті системи керування, і наступні розділи?

Відповідь: Дякую за запитання. Річ у тім, що в розділах 3-4 розглядаються моделі нестационарних течій. Саме нестационарна течія у вигляді ударного імпульсу генерується при різкому русі штоку приводу. Крім того, тема дисертаційної роботи з самого початку була сформульована таким чином, аби не обмежувати дослідження однією з проблем. Тому словосполучення «фізичні процеси» дозволяє розглядати, в рамках теми дисертації, різні процеси, які, на перший погляд, не є пов'язаними один із одним.

2. Ігнатович С.Р., д.т.н., проф., професор кафедри конструкцій літальних апаратів;

Запитання: От у Вас на рис. 2.1 показані дві криві. Одна – час випускання шасі без урахування вітру, а друга – з урахуванням. Як я бачу, різниця є не дуже великою. Питання: чи варто враховувати ці процеси при розрахунку часу випускання шасі?

Відповідь: Дякую за запитання. Насправді різниця приблизно у 15% не такою вже і малою. Крім того, при здійсненні оптимального керування рухом штоку приводу слід враховувати додаткове зовнішнє навантаження аби рух шасі відбувався взагалі. Так, дійсно можна просто збільшити навантаження на шток, але це призводить до появи додаткових рухів – коливань, які обумовлені саме ударним імпульсом в рідині і системі в цілому.

3. Микосянчик О.О., д.т.н., проф., завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів;

Запитання: Якими пакетами програм ви користувалися для отримання розв'язків задач?

Відповідь: Дякую за запитання. Системою символьних обчислень Мейпл. Мейпл також дозволяє чисельно розв'язувати рівняння і системи рівнянь, аналітичний розв'язок яких ще поки не відомий людству.

4. Микосянчик О.О., д.т.н., проф., завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів;

Запитання: Що таке різкий поривчастий вітер?

Відповідь: Дякую за запитання. В роботі вдосконалено диференціальну модель процесу випускання-прибирання шасі. Вдосконалення стосується моделювання саме несприятливих погодних умов, коли, наприклад, при приземленні, різкий порив вітру, який відбувається протягом кількох секунд, може збільшити час випускання шасі. Навіть 1-2 секунди можуть відігравати роль, коли літак має торкнутися злітно-посадкової смуги, а його шасі ще не повністю випущене. Це може призвести до аварійної ситуації.

5. Микосянчик О.О., д.т.н., проф., завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів;

Запитання: У Вас в доповіді дуже багато інформації. Можливо, слід скоротити кількість формул і зосередити більше уваги на отриманих Вами результатах?

Відповідь: Дякую за запитання. Так, я згодна з Вами. Можна дещо скоротити. Поясню чому саме ми із науковим керівником винесли цю інформацію на доповідь. Річ у тім, що як раз дуже часто на наукових семінарах лунає протилежне зауваження: чому немає інформації про результати інших досліджень; це ускладнює розуміння того, що ж нового зроблено в роботі. Але, дійсно, дещо можна таки прибрати із доповіді. Я обов'язково врахую це при підготовці доповіді до захисту.

6. Карускевич М.В., д.т.н., професор, професор кафедри конструкцій літальних апаратів КАІ.

Запитання: В четвертому розділі Ви розглядаєте модель взаємодії течії із структурою, точніше – конструкцією. Скажіть, будь ласка, ударний імпульс в рідині викликає лише повздовжні коливальні рухи стінки твердого тіла (труби) чи існують ще якісь рухи?

Відповідь: Дякую за запитання. Дійсно, відбуваються не лише повздовжні коливання стінок труби, але ще й поперечні і крутні коливання. Але вони є ефектами другого порядку малості і тому кількісно в моделі не враховуються.

7. **Карускевич М.В.**, д.т.н., професор, професор кафедри конструкцій літальних апаратів КАІ.

Запитання: В рамках якої моделі оболонки розглядається труба – тонкостінної чи товстостінної?

Відповідь: Дякую за запитання. Тонкостінної.

8. **Дубковецкий І.В.**, к.т.н., доцент, доцент кафедри гідро газових систем (суміс.);

Запитання: я у Вашій доповіді не побачив граничних і початкових умов; скажіть, будь ласка, які граничні та початкові умови використовуються?

Відповідь: Дякую за запитання. Так, дійсно, при використанні диференціальних моделей слід задавати додаткові умови, які дають можливість визначити константи інтегрування. Якщо відповісти на Ваше запитання одним словом, то відповідь така – фізичні (умови). Поясню цю відповідь. При випусканні-прибиранні шасі, керуванні закрилками, задавалися початкові положення штоку та кути закрилка відповідно, а також початкові швидкості та кутові швидкості. В розділах 3-4, де моделі зводилися до автомобільних рівнянь, у якості граничних умов задавалися максимальні значення збурень тиску та швидкості поширення на характеристиці, що відповідає нульовому значенню автомобільної змінної. Задачі відбиття ударного імпульсу від стінки нами не розглядалися. Тому звичайні граничні умови не задавалися.

9. **Макаренко Р.О.**, к.т.н., доцент, доцент кафедри гідро газових систем;

Запитання: в мене до Вас питання-зауваження. Перше, чи не варто зробити рисунки більш максимально насиченими, можливо накласти ґратку, аби було легше кількісно аналізувати? І друге запитання-побажання. Чи не варто подавати матеріал у блочному вигляді, що значно спрощує сприйняття результатів?

Відповідь: Дякую за запитання. Так, я з Вами згодна: можна дещо покращити рисунки. Щодо блочного представлення результатів, то тут я вважаю, що мені слід порадитися із моїм науковим керівником і прийняти рішення щодо цього побажання.

9. **Бадах В.М.**, к.т.н., с.н.с., завідувач кафедрою Гідро газових систем КАІ.

Запитання: В мене є також до вас питання, чи скоріше зауваження. Один із висновків звучить: Отже, вказано на необхідність вивчення процесу формування нестационарних течій в гідравлічних системах літаків і вертольотів. У висновках, за звичай, пишуть більш формально. Отже, формалізуйте цей висновок, будь ласка.

Відповідь: Дякую за запитання-пропозицію. Згодна.

10. **Єнчев С.В.**, д.т.н., проф., завідувач кафедрою автоматизації та енергоменеджменту.

Запитання: На слайді 5 у Вас представлено модель взаємного руху штоку електромеханічного приводу і закрилка. Які рівняння з цієї системи і за що відповідають? І у чому полягає новизна?

Відповідь. Дякую за запитання. Як я вже казала, перші два рівняння відповідають куту повороту закрилка та переміщенню штоку. Далі, за ними слідує рівняння зміни двох компонент струму (прямого та квадратичного), П'яте та шосте рівняння – це той самий закон зміни кінетичного моменту (як і для шасі) відповідно для електромотору і для механічної передачі. Новизна

полягає у тому, що ми використали нелінійне співвідношення зв'язку між переміщенням штоку приводу і кута повороту закрилка і підставили його у вже відому систему

11. Балалаєва К.В. д.т.н., доц. кафедри авіаційних двигунів;

Запитання: У Вас в моделі бульбашкової рідини першим пунктом прописані слабкі збурення, а розглядається нелінійна модель. Поясніть будь ласка?

Відповідь. Дякую за запитання. Так, в роботі ми відійшли від малих збурень, бо збурення тиску можуть сягати 75% від робочого. Тому ми включили у розгляд конвекцію поля рідини, тиску і густини.

Висновок наукового керівника.

Після відповідей на запитання було озвучено висновок наукового керівника Лук'янова Павла Володимировича, к. ф.-м. н., с. н. с, доцента кафедри гідро газових систем державного університету «КАІ».

Зазначено, що дисертантка успішно виконала індивідуальний план наукової роботи та індивідуальний навчальний план. Підготовлена дисертація готова до захисту. У роботі опрацьовано достатньо велику кількість джерел інформації, у тому числі англійською мовою, що дало змогу використати світові наукові досягнення.

У процесі виконання роботи дисертантка показала здатність до критичного аналізу літературних джерел, вміння виявити та самостійно сформулювати та вирішити поставлені наукові задачі, в також прагнення до підвищення свого освітнього і професійного рівня. Дисертантка виявила вміння проводити наукові дослідження, має наукові публікації та доповіді у наукових конференціях.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка націлена на вирішення актуальної наукової задачі, відповідає спеціальності 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка”, а її авторка Павлова Катерина Сергіївна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії, на підставі Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, який затверджено Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

Науковий керівник запропонував затвердити позитивний висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів зазначеної дисертації та рекомендувати її до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 “Механічна інженерія”, за спеціальністю 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка”.

Обговорення дисертаційного дослідження.

Карускевич М.В., д.т.н., професор, професор кафедри конструкцій літальних апаратів КАІ-(рецензент)

Професор зазначив, що робота є фундаментальним дослідженням. Зокрема, запропоновано повністю новий підхід до опису формування та початкового поширення ударного імпульсу в крапельній однорідній та бульбашковій рідинах,

оберненого впливу конструкції на нестационарну течію. Актуальність теми досліджень підтверджується потребою України в переході до власного виробництва власних систем керування повітряним судном, високим рівнем їх технічних характеристик.

Авторка має належну кількість публікацій – 4 в фахових виданнях категорії Б за спеціальністю 134. Результати дослідження апробовані на наукових конференціях (7 доповідей).

Загалом дисертаційна робота є завершеною та такою, що відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

Микосянчик О.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ

Наукове дослідження є змістовним, спрямоване на розв'язання актуальних наукових задач. Авторка достатньо обґрунтувала методи та отримані результати, які викладені у дисертації. Робота є добре структурованою, авторкою опубліковано належну кількість праць та здійснено значну кількість апробацій, включаючи виступи на міжнародних конференціях.

Отримані дисертантом результати мають наукову новизну, важливе теоретичне та практичне значення, тому здобувач заслуговує на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Балалаєва К.В. д.т.н., доц. кафедри Авіаційних двигунів КАІ.

Представлені дисертантом результати однозначно свідчать про глибину досліджень, вміння вирішувати існуючі в даному науковому напрямку проблеми. Робота написана на високому теоретичному рівні. Вперше до опису нестационарної течії застосовано перехід до автомоделної змінної, а не метод характеристик. Це дає змогу мати повну картину формування збурень фізичних полів і їх подальшого застосування у тривимірному моделюванні. В мене особисто склалася позитивна думка щодо роботи в цілому. Робота заслуговує на позитивну оцінку.

Ігнатович С.Р., д.т.н., професор, професор кафедри конструкцій літальних апаратів КАІ

Робота є актуальною, комплексною, структурованою, містить результати для актуальних прикладних застосувань. Також робота відповідає встановленим вимогам. Пропоную підтримати роботу і бажаю успіхів дисертантці.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Павлової Катерини Сергіївни на тему “Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 “Механічна інженерія” за спеціальністю 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка”

Актуальність теми дослідження та її зв'язок із планами науково-дослідних робіт. Науково-технічний прогрес виявляється у постійному підвищенні технічних вимог до систем керування літальних апаратів (авіаційної та ракетно-космічної техніки). Технічний прогрес у авіаційній галузі неодмінно пов'язаний із збільшенням злітної маси та швидкості польоту літаків. Разом із цим підвищуються вимоги до безпеки. Як наслідок, задача керування повітряним судном значно ускладнюється.

Сучасні літальні апарати (літаки і вертольоти) являють собою дуже складні системи. Складність полягає, перш за все, у тому, що фізичні процеси, які відбуваються всередині цих систем під час їх роботи, ще не вивчені повною мірою. Головною перешкодою на цьому шляху є розробка повної адекватної фізико-математичної моделі фізичного процесу. Ця повнота пов'язана із нелінійним характером рівнянь, що описують процеси. Загальний підхід, що базується на спрощенні (лінійності) математичної задачі обмежує можливості керування фізичним процесом, або просто кажучи рухом літального апарату.

Серед найважливіших систем сучасного літака є система первинного контролю польотом, система прибирання та випускання шасі літака. Як і в системі керування механізацією крила, так і в шасі, гідропривід відіграє одну з ключових функцій. Критичний аналіз існуючих джерел вказує, що по-перше, нелінійні процеси апроксимують лінійними математичними моделями; по-друге, навіть лінійні моделі і математичні задачі, які їм відповідають, розв'язуються чисельно. Як наслідок, проміжок часу, що необхідний для якісного керування ЛА, є значно більшим ніж той, що можна досягнути шляхом використання аналітичного розв'язку задачі.

Під час роботи гідроприводу генеруються нестационарні течії, найважливішою з яких є ударний імпульс. Цей факт став вирішальним для обрання об'єкту досліджень даної роботи.

Дисертаційне дослідження здійснювалося в межах комплексного наукового проекту “Дослідження фізичних процесів в гідравлічних і пневматичних пристроях та елементах конструкцій рідинно-газових систем літальних апаратів”.

Дисертаційна робота пов'язана з планами науково-дослідної роботи та навчальної роботи і відповідає тематичній спрямованості наукових розробок, що здійснювалися у КАІ та, зокрема кафедри гідро газових систем, а саме в рамках науково-дослідних робіт: у 2023-2024 роках “Дослідження фізичних процесів в гідравлічних і пневматичних пристроях та елементах конструкцій рідинно-газових систем літальних апаратів”, № Держреєстрації 0122U201453, у який здобувачка була виконавцем окремих розділів.

У процесі виконання НДР авторка приймав участь у концептуалізації досліджень, аналізі завдання, застосуванні програмних засобів розв'язання задач, формулюванні задач та аналізі отриманих результатів.

Тема дисертації відповідає освітньо-науковій програмі “Авіаційна та ракетно-космічна техніка” за спеціальністю 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка” галузі знань 13 “Механічна інженерія” в Державному університеті “КАІ” (зокрема, ОК 1.3.1, ОК 2.1.2 та ОК 2.2.3)

Формулювання наукового завдання, вирішення якого отримано в дисертації. Основною метою досліджень даної роботи було розробка нових і вдосконалення існуючих моделей процесу прибирання та випускання шасі літака, процесу первинного контролю (закрилок) літака та фізичний процес формування та поширення ударного імпульсу в однорідній та бульбашковій рідинах – як без урахування взаємодії з конструкцією так із урахуванням. Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

- здійснити узагальнений критичний аналіз літературних джерел у зазначеній в меті області;
- удосконалити модель первинного контролю літака (закрилками);
- удосконалити моделі випускання та прибирання шасі літака;
- розробити модель формування ударного імпульсу в крапельній (однорідній) рідині з урахуванням ефектів конвекції та стаціонарного тертя;
- розробити модель формування ударного імпульсу в бульбашковій рідині з урахуванням ефектів конвекції та стаціонарного тертя;
- удосконалити модель взаємодії нестационарної течії рідини зі структурою під час формування та поширення ударного імпульсу;
- розробити модель взаємодії нестационарної течії бульбашкової рідини зі структурою під час формування та поширення ударного імпульсу

Наукові положення, розроблені особисто здобувачем, та їх новизна

У результаті проведеного дисертаційного дослідження отримано такі нові наукові результати:

вперше

обґрунтовано важливість сукупного врахування конвекції та стаціонарного тертя залежність молекулярної в'язкості в моделі нестационарної течії (гідравлічний удар) крапельної рідини;

розроблено аналітичну модель, що дозволяє описувати формування та поширення ударного імпульсу в бульбашковій рідині із урахуванням конвекції та тертя;

отримано аналітичну функціональну залежність поля тиску від швидкості поширення ударного імпульсу – як для моделі крапельної так і бульбашкової рідини;

розроблено аналітичну модель, що описує взаємодію нестационарної течії бульбашкової рідини зі структурою; модель є цілком оригінальною, так як вперше, для даної задачі, застосовано перехід до автомодельної змінної;

удосконалено

модель взаємодії нестационарної течії крапельної рідини зі структурою (твердим деформованим тілом, всередині якого тече рідина); удосконалення полягає в оригінальному підході – переходу до автомодельної змінної та отримання автомодельного рівняння разом із його розв'язком;

математичну модель процесу випускання та прибирання шасі літака;

математичну модель роботи об'ємного гідроприводу;

математичну модель первинного контролю закритками літака, зокрема обґрунтовано важливість нелінійного зв'язку між рухом штоку та кутом повороту закритком.

отримали подальший розвиток:

теорія гідравлічного удару у крапельній рідині, зокрема вказано на важливість урахування конвекції та в'язкості при описі зазначеного фізичного процесу;

теорія гідравлічного удару у бульбашковій рідині, зокрема здійснено перехід від спрощеної лінійної моделі до більш повної, яка враховує нелінійні ефекти конвекції та тертя;

теорія взаємодії нестационарної течії крапельної та бульбашкової рідини зі структурою, зокрема враховані разом конвекція поля швидкості, стаціонарне та нестационарне тертя.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій, які захищаються.

Наукові положення, висновки й рекомендації, сформульовані в дисертації, відповідають вимогам до наукових досліджень. Обґрунтованість та достовірність наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації, забезпечуються:

- чіткою структурою дослідження, послідовним викладенням матеріалу та взаємозв'язком окремих розділів дисертації;
- використанням достатньої кількості джерел інформації;
- коректним застосуванням математичного апарата.

Наукове значення роботи. Запропонований та отримав розвиток узагальнений підхід опису нестисливої течії рідини під час такого фізичного процесу як гідравлічний удар. Узагальнення полягає в тому, що на відміну від існуючих моделей, вже враховується спільний вплив конвекції та тертя рідини о стінку конструкції, що уможливує поширення ударного імпульсу зі швидкістю, яка є змінною у просторі і часі. Модель гідравлічного удару в бульбашковій рідині вже описує не тільки відносно малі збурення тиску в трубопроводі, але і такі (реальні), що мають той же порядок, що і робочий тиск. Модель взаємодії нестационарної течії рідини з конструкцією (структурою) теж розвинена до нового рівня. Замість лінійної моделі, використовується нелінійна, яка враховує конвекцію, стаціонарне та нестационарне тертя рідини об трубу. Розроблена цілком нова нелінійна модель взаємодії нестационарної течії бульбашкової рідини з конструкцією.

Здійснено перехід на якісно новий рівень опису математичної моделі кінематики та динаміки руху шасі літака – від алгебраїчної моделі, що здатна описати лише стан системи в крайніх положення шасі, до диференціальної моделі, яка надає можливість отримувати інформацію про стан системи у кожний момент часу. Показано зв'язок між рухом штоку приводу в системі керування та нестационарною течією (ударним імпульсом).

Практичне значення та використання результатів дисертаційного дослідження полягає в тому, що вироблене розуміння важливості урахування в моделях нестационарних течій рідини (гідравлічний удар) сумісного використання ефектів конвекції та тертя. Крім того, показано, що вказані ефекти також важливі для опису так званої бульбашкової рідини, яка відповідає реальній робочій рідині, що функціонує у рідинних системах літаків і вертольотів. Ще одним практичним значенням є те, що рух поршню

гідроциліндра описується одним із можливих видів нестационарної течії рідини, що вказує на взаємозв'язок зазначених явищ. Отримані нелінійні моделі взаємодії нестационарного руху рідини (ударний імпульс), при їх урахуванні в моделях первинного контролю літака, неодмінно покращать точність керування при польоті. Практично важливим є отриманий результат про те, що рух закрилка та штока привода не описується лінійними співвідношеннями, бо при кутах повороту закрилка близьких до пів радіану вже суттєва ця не лінійність.

Результати дисертації можуть бути використані в авіа будівництві при проектуванні гідравлічних систем літаків та вертольотів, систем керування механізацією крила та інших систем, де моделювання фізичних процесів ще є далеко недосконалим, про що свідчать доповіді провідних фахівців ДП «Антонов» -- похибка керування інколи сягає 9 градусів.

Таким чином у представленій роботі розв'язана наукова проблема, яка має велике значення для літакобудування України і полягає в правильному моделюванні та розрахунку нестационарної течії рідини в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Результати даної дисертаційної роботи запроваджено у навчальний процес кафедри як матеріал практичних занять із навчальної дисципліни "Моделювання та розрахунок робочих процесів в рідинно газових системах ЛА", а також у курсах «Гідравліка» та «Гідравліка та гідропневмопристрої авіаційної техніки» проектах (акт про впровадження від 11.11.2024 та довідка про впровадження від 07.02.2025).

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора. Дисертація Павлової Катерини Сергіївни є самостійною науковою працею, в якій наведено теоретичні положення та висновки, власні ідеї та розробки автора, які дають змогу вирішити поставлені завдання. Усі висновки та практичні рекомендації, винесені на захист, розроблені дисертантом особисто.

Найважливіші ідеї, висновки, рекомендації, отримані в дисертації, оприлюднені на наукових та науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних, всеукраїнських із міжнародною участю: "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці" (Київ, 2023, 2024), "Комп'ютерна гідромеханіка" (Київ, 2024), "Промислова гідравліка і пневматика" (м. Київ, 2021, 2022), "Polit: Challenge of science today" (2024), "Сучасні технології у промисловому виробництві" (СТПВ-2024).

Основні положення та результати викладено в 11 наукових працях, із них 4 публікації у фахових наукових виданнях України та 7 тез на науково-практичних конференціях.

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у фахових виданнях України

1. Lukianov P.V., Pavlova K.S. Unsteady flow of droplet liquid in hydraulic systems of aircrafts and helicopters: models and analytical solutions. *Aerospace technics and technology*. 2024. № 1. P. 32-42.

Особистий внесок Lukianov P.V. Постановка задач, аналіз отриманих

результатів.

Особистий внесок Pavlova K.S. Розв'язання задач, аналіз отриманих результатів.

2. Lukianov P.V., Pavlova K.S. Unsteady flow in bubble liquid in hydraulic system of aircraft and helicopters. *Aerospace technics and technology*. 2024. №. 2. P. 4-14.

Особистий внесок Lukianov P.V.. Концептуалізація, формулювання завдання, розвиток математичної моделі, аналіз результатів.

Особистий внесок Pavlova K.S. Концептуалізація, розвиток математичної моделі, використання пакетів програм для розв'язку задач, аналіз результатів.

3. Лук'янов П.В., Павлова К.С.. Нелінійна динаміка в системі первинного контролю польотом. *Механіка гіроскопічних систем*. 2024. Випуск 47. С. 17-27.

Особистий внесок Лук'янова П.В. Формулювання завдання, розвиток математичної моделі, аналіз результатів.

Особистий внесок Павлової К.С. Формулювання завдання, використання пакетів програм для розв'язку задач, аналіз результатів.

4. Lukianov P.V., Pavlova K.S. Nonlinear model of interaction of unsteady fluid flow with structure in hydraulic systems of aircraft and helicopters. *Aerospace technics and technology*. 2024. №.4, P. 4-14.

Особистий внесок Lukianov P.V. Концептуалізація, формулювання завдання, розвиток математичної моделі, аналіз результатів.

Особистий внесок Pavlova K.S. Концептуалізація, використання пакетів програм для розв'язку задач, розвиток математичної моделі, аналіз результатів.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

5. Лук'янов П.В., Бадах В.М., Бутко В.С., Павлова К.С. Рух поршня гідроциліндру під час гідродару. *Промислова гідравліка і пневматика: матеріали XXII міжнародної наук.-техн. конф. АС ППТ, м. Київ, 17-18 листопада 2021 р. Київ, 2021. С. 48-50.*

6. Лук'янов П.В., Бадах В.М., Павлова К.С., Рубанович А.Ю. Кінематика та динаміка випуску передньої шасі літака в складних погодних умовах. *Промислова гідравліка і пневматика: матеріали XXIII міжнародної наук.-техн. конф. АС ППТ, м. Київ, 15-16 грудня 2022 р. Київ, 2022. С. 36-38.*

7. Лук'янов П.В., Павлова К.С. Поширення ударної хвилі у бульбашковій рідині. *Сучасні технології у промисловому виробництві (СТПВ-2024): матеріали XI Всеукраїнської наук.-техн. конф., м. Суми, 23-26 квітня 2024 р. Суми, 2024. С. 303-304*

8. Павлова К.С. Урахування в моделі гідравлічного удару конвекції поля швидкості. *ПОЛІТ. СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКИ: тези доповідей XXIV Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Київ, 2—5 квітня 2024 р. Київ, 2024. С. 181-182.*

9. Лук'янов П.В., Бадах В.М., Павлова К.С. Нелінійна модель системи первинного контролю політом «ЕМП-закрилки». *Гідромеханіка в інженерній*

практиці: матеріали XXVII міжнародної наук. техн. конф., м. Київ, 31 травня – 2 червня 2023 р. Київ, 2023. С. 66-68.

10. Lukianov Pavlo, Pavlova K. Use of self-similarity to determine the initial distributions of the inknown values on the example of the flow-structure interaction problem. *Computer Hydromechanics*: materials of IX Intern. Conf. Kyiv, October 1-2, 2024. Kyiv, 2024. P. 107-108.

11. Павлова К.С. , Лук'янов П.В. Формування ударного імпульсу в системі бульбашкова рідина-структура. *Гідромеханіка в інженерній практиці*: матеріали XXVIII міжнародної наук. техн. конф., м. Київ, 28 – 29 листопада 2024 р. Київ, 2024. С. 38-41.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів основної частини, висновків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 155 сторінок, із них – 123 основного тексту. Робота містить 22 рисунки. Список використаних джерел налічує 127 найменувань.

Оцінки мови та стилю дисертації. Текст дисертації викладено грамотною мовою, логічно та послідовно. Матеріали дослідження викладені з дотриманням вимог наукового стилю. Дисертація оформлена згідно з вимогами Міністерства освіти і науки України.

Характеристика особистості здобувача. Під час підготовки дисертаційної роботи Павлова Катерина Сергіївна проявила себе як творчий дослідник і науковець, здатний самостійно на високому науково-методичному рівні вирішувати наукові та практичні завдання. Вона повною мірою володіє сучасними методами моделювання та розрахунку течій рідини, має належний рівень теоретичної та практичної підготовки.

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Павлової Катерини Сергіївни на тему “Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки”

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Павлової Катерини Сергіївни відповідає спеціальності 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка” та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року. № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283), вимогам пп. 6, 7, 8, 9 “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

3. Рекомендувати дисертаційну роботу “Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки”, подану Павловою Катериною Сергіївною на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13

“Механічна інженерія”, за спеціальністю 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка” до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

4. Рекомендувати Вченій раді КАІ клопотати про призначення:

Головою разової спеціалізованої вченої ради:

Ігнатовича Сергія Ромуальдовича, доктора технічних наук, професора, професора кафедри конструкції літальних апаратів КАІ.

Рецензентами:

Микосянчик Оксану Олександрівну, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Карускевича Михайла Віталійовича, доктора технічних наук, професора, професора кафедри конструкцій літальних апаратів КАІ;

Офіційними опонентами:

Панченка Анатолія Івановича, доктора технічних наук, професора, проректора з наукової роботи Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Рогового Андрія Сергійовича, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри гідравлічних машин ім. Г.Ф. Проскури Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Головуючий на засіданні :

завідувач кафедри
гідро газових систем КАІ,
к. т. н., с.н. с.

Секретар засідання:

доцент кафедри
гідро газових систем КАІ,
к. т. н., доцент

ПОГОДЖЕНО:

проректор з наукових досліджень та
трансферу технологій КАІ,
д.т.н., професор

 Валерій БАДАХ

 Тарас ТАРАСЕНКО

 Сергій ГНАТЮК