

ЗАТВЕРДЖУЮ

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



Ксенія СЕМЕНОВА

2024 року

ВИСНОВОК

Державного некомерційного підприємства “Державний університет “Київський авіаційний інститут” (далі – КАІ) про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Сун Лін на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка”
на тему “Моделювання та розрахунків процесів обтікання просторових тіл зі складною геометрією поверхні”

ВИТЯГ

із протоколу № 12 розширеного засідання
кафедри гідро газових систем
Державного некомерційного підприємства
“Державний університет “Київський авіаційний інститут”
від 12 грудня 2024 року

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

Бадах В.М., к.т.н., с.н.с., завідувач кафедри;
Лук'янов П.В., к.ф.-м.н., с.н.с., доцент кафедри
Макаренко Р.О., 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 ЛА
Карускевич М.В., д.т.н., проф., професор кафедри конструкцій ЛА
Микосянчик О.О., д.т.н., проф., завідувач кафедрою прикладної механіки та інженерії матеріалів
Балалаєва К.В. д.т.н., доц. кафедри авіаційних двигунів
Маслак Т.П., к.т.н., доцент, доцент кафедри конструкцій ЛА

Юцкевич С.С., к.т.н., доцент, завідувач кафедрою конструкцій ЛА
 Балалаєв А.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів

Слухали:

Доповідь здобувача кафедри гідро газових систем КАІ Сун Лін на тему “Моделювання та розрахунок процесів обтікання просторових тіл зі складною геометрією поверхні”, подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 “Механічна інженерія”, за спеціальністю 134 “Авіаційна та ракетно-космічна техніка”.

Тему дисертаційного дослідження “Моделювання та розрахунок процесів обтікання просторових тіл зі складною геометрією поверхні” затверджено на засіданні Вченої ради Аерокосмічного факультету “26” листопада 2020 року, протокол № 11.

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

Доповідач обґрунтував актуальність обраної теми, визначив мету, завдання, методи дослідження, охарактеризував об’єкт та предмет дисертації, виклав основні наукові положення та висновки, що виносяться на захист, вказав основні наукові та практичні результати, надав інформацію про впровадження результатів дослідження.

Автором 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.

Дисертант проаналізував основні існуючі на сьогодні теорії примежового шару та визначив їх недоліки, результатами яких – суперечність фундаментальним законам фізики. Він зазначив, що подальше вдосконалення теорії примежового шару потребує створення нового підходу, де молекулярна в’язкість не є сталою величиною, а умова повного і миттєвого прилипання частинок рідини до рухомого тіла має бути заміненою на умову часткового ковзання – в області розвитку течії.

Автор вдосконалив математичний опис рівнянь Нав’є-Стокса, що описують рух в’язкої течії рідини. Так, якщо раніше для ламінарного типу руху вважалося, що молекулярна в’язкість є лише функцією температури, то тепер, так само як і в першому законі термодинаміки (Фур’є), молекулярна в’язкість є функцією просторових координат та часу – в примежовому шарі. Головною особливістю запропонованого підходу є використання методів варіаційного числення та

варіаційних принципів. Запропонована нова реологія використовує саме можливість додавання в математичну модель одного чи кількох додаткових рівнянь, яких бракує через узагальнення функції молекулярної в'язкості.

Автор запропонував нові моделі щодо опису основних типів вихрових течій, що утворюються в примежовому шарі і далі розвиваються у просторі при обтіканні як прямолінійних так і криволінійних поверхонь літака. Новизна цих моделей полягає у тому, що вони відображають компактність вихрової течії у просторі, що цілком відповідає закону збереження енергії. На відміну від існуючих моделей, де вказані вихрові течії суперечать цьому закону.

Автор зазначив, що у роботі представлено сукупність методів та процедур щодо моделювання та розрахунку процесу обтікання просторових тіл як із простою так і складною геометрією поверхні. Отримані аналітичні розв'язки модельних задач є фізичними і не протиричають фізиці явищ та здоровому глузду.

Розроблені методи та процедури надають практичні рекомендації щодо експериментальних досліджень. Оскільки в роботі доведена відсутність повної оборотності прямої (рух літака або іншого тіла в нерухомій рідині) та оберненої (обтікання рідиною нерухомого тіла) задач, то пропонується проводити експериментальні дослідження на рухомих моделях (літаків, окремих його частин), що суттєво наблизить експеримент до реального явища – польоту.

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. Макаренко Р.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри гідро газових систем КАІ.

Запитання: Скажіть, будь ласка, от у Вас в темі дисертації йдеться про криволінійну поверхню, а в презентації немає рисунка криволінійної поверхні. Прокоментуйте цей факт, будь ласка.

Відповідь: Дякую за запитання. Так, дійсно. Річ у тім, що в презентації представлені основні результати. А в тексті дисертації є спеціальний розділ де показано поширення результатів плоского примежового шару на криволінійні поверхні обертання, наприклад фюзеляж літака. Дякую Вам за запитання. Ми врахуємо, скоріше за все, Ваше зауваження під час захисту дисертаційної роботи.

2. Карускевич М.В., д.т.н., професор, професор кафедри конструкцій ЛА КАІ.

Запитання: Ви би не могли повернутися до рівняння (2) і відповісти на таке питання: скільки і які граничні умови додаються до цього рівняння.

Відповідь: Дякую за запитання. Рівняння (2) – це звичайне диференціальне рівняння другого порядку. Отже, для його розв'язання, тобто інтегрування і знаходження розв'язку, потрібно додати дві фізичні граничні умови. Ними наразі є умова прилипання та умова прямування до нуля повздовжньої компоненти швидкості тіла.

3. Балалаєв А.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри Прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Запитання: Ви б не могли прокоментувати більш детально рис. 8. ?

Відповідь: Дякую за запитання. На рис. 8 зображено безрозмірне значення тиску на поверхні тіла в області розвитку течії. Особливість цього рис. Полягає в тому, що при збільшенні швидкості тіла збільшується і швидкість течії рідини в примежовому без-градієнтному шарі. Так, за значення швидкості 100 м/с перепад тиску в області розвитку течії вже має величину одного порядку із атмосферним тиску. Звісно, це може не впливати на напружено-деформований стан основних частин літака -- крил, інших частин тощо. Отже, отримані результати слід брати до уваги при відповідних обрахунках.

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

Запитання: Скажіть, будь ласка, ви розглядаєте Н'ютонівську рідину?

Відповідь: Дякую за запитання. Так, течія в примежовому шарі описується цією моделлю (Н'ютонівської рідини).

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

Запитання: Що Ви маєте на увазі, коли кажете «напруження тертя»? Адже в рідині є термін «зсувні напруження».

Відповідь: Дякую за запитання. Так я згоден, коректно казати зсувні напруження, бо тертя є просто наслідком цих напружень.

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

Запитання: Ви казали щось про ізотропію? Що саме? Прокоментуйте, будь ласка.

Відповідь: Дякую за запитання. Так, казав. Річ у тім, що примежовий шар – це область простору, де одна фаза впливає на іншу. Отже в примежовому шарі немає строгої ізотропії через наявність двох фаз.

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

Запитання: І що у вас в'язкість не залежить від температури?

Відповідь: При тих значеннях швидкостей (чисел Маха) нагрівання рідини через тертя не істотне.

8. Ігнатович С.Р., д.т.н., професор, професор кафедри конструкцій ЛА КАІ.

Запитання: От Ви у якості першого висновку до роботи пишете .. Запропонована нова концепція ... Таке пишуть, за звичай, у висновках до роботи на ступінь доктора наук. У Вас тут лише рівень кандидата наук, або доктора філософії. Тож, чи згодні Ви зі мною, що треба більш скромніше сформулювати цей висновок?

Відповідь: Дуже за запитання-пропозицію. Згоден. Ми, разом із науковим керівником, врахуємо Ваше зауваження.

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. Третій висновок звучить так: Під час спроби чисельного моделювання ... і так далі. У

висновках, за звичай, пишуть більш формально. Отже, формалізуйте третій висновок, будь ласка.

Відповідь: Дякую за запитання-пропозицію. Згоден.

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 дисертант успішно виконав 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 дисертант показав 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. Дисертант виявив 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 автор Сун Лінь 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 ЛА державного університету «КАІ» (*рецензент*)

Професор зазначив, що робота є фундаментальним дослідженням. Зокрема, запропоновано повністю новий підхід до опису ламінарної нестисливої течії в примежовому шарі при обтіканні поверхні рухомого тіла. Актуальність дослідження підтверджується потребою України в виробництві сучасних літальних апаратів, які рухаються саме зі швидкостями, що відповідають нестисливій течії рідини.

Автор має належну кількість публікацій – 5, 3 з яких представлено в фахових виданнях категорії Б за спеціальністю 134, а 2 – в фахових виданнях категорії Б за спеціальністю 131. 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. Автор достатньо обґрунтував методи та отримані результати, які викладені у дисертації. Робота є добре структурованою, автором 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 примежового шару застосоване варіаційне числення, що дало змогу прямого використання моделі в'язкої течії Стокса для опису примежового шару – шляхом її узагальнення. 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 ЛА КАІ

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

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації на тему “Моделювання та розрахунок процесів обтікання просторових тіл зі складною геометрією поверхні”, 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. Атмосфера та гідросфера є двома невід'ємними складовими Землі. Тож рух тіл у рідині (вода, повітря) має неабияке значення з точки зору проектування, тобто моделювання та розрахунку, різноманітних транспортних засобів, зокрема авіаційної та ракетно-космічної техніки. Невипадково у провідних світових журналах авіаційного напрямку підрозділ «механіка рідини та газу» (англійською *Fluid mechanics*) посідає перше місце серед інших напрямків досліджень.

Проблема коректного опису руху рідини при обтіканні просторових тіл має вкрай важливе значення. Як свідчить досвід, неможливо просто шляхом лише

геометричної подібності конструювати літальні апарати значно менших ніж звичайні літаки розмірів. На швидкостях, що не виходять за діапазон нестисливої течії рідини, моделювання та розрахунок течії в примежовому шарі є необхідною складовою конструкції літального апарату.

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 НАУ 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 якій здобувач був виконавцем окремих розділів.

У процесі виконання НДР автор 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. У дисертаційній роботі вирішено нову науково-прикладну проблему щодо моделювання та розрахунку течії рідини у примежовому шарі на підставі прямого використання рівнянь Нав’є-Стокса, які узагальнені, для ламінарного типу руху, в роботі. Також отримано ряд вдосконалених моделей вихрових течій, що формуються під час польоту літака.

Наукові положення, розроблені особисто здобувачем, та їх новизна

У результаті проведеного дисертаційного дослідження отримано такі нові наукові результати:

вперше

фізично обґрунтовано залежність молекулярної в’язкості від відстані до стінки у ламінарному примежовому шарі нестисливої течії рідини;

обґрунтовано відмінність нестисливих течій у без-градієнтному та градієнтному примежових шарах, яка пояснюється різною кількістю сил, що діють на рідину;

виявлено, що існуючі теорії опису руху рідини дають хибні висновки, зокрема висновок про можливість існування так званого «вічного двигуна», натомість запропонована модель дає можливість отримати фізично коректні результати.

удосконалено

концептуальну схему щодо використання умови повного прилипання рідини до поверхні рухомого тіла замінено на умову часткового прилипання у області розвитку течії;

на підставі комплексного підходу, який базується на виявленні суттєвих нерозумінь у механіці рідини та газу, удосконалені кілька моделей, що описують вихрові течії, які генеруються на плоскій та криволінійній поверхнях під час польоту літака, зокрема: 1) модель вихрової пелени, що утворюється на прямолінійній поверхні; 2) модель вихрової доріжки Кармана, що утворюється за об'ємним тілом (із криволінійною геометрією поверхні); 3) модель так званого вихору Бюргерса - Ротта.

отримали подальший розвиток:

теорія ламінарної течії в примежовому шарі, зокрема вказано на причину невідповідності сталості молекулярної в'язкості в примежовому шарі – відсутність ізотропії простору;

реологія примежового ламінарного шару: завдяки відходу від припущення сталості молекулярної в'язкості в примежовому шарі і узагальнення можливості залежності в'язкості від відстані до твердої поверхні та часу (в нестационарних задачах) стало можливим пряме застосування рівнянь Нав'є-Стокса для опису ламінарної нестисливої течії в примежовому шарі;

методологія проведення експериментальних досліджень, яка базується на відсутності повної оберненості задачі руху тіла в нерухомій рідині та задачі обтікання нерухомого тіла градієнтною течією рідини.

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 та слабо нестисливої ламінарної течії рідини у без-градієнтному примежовому шарі, що відповідає руху літака зі швидкостями до 0,2-0.6 Ма (числа Маха). Узагальнення полягає в тому, що молекулярна в'язкість є функцією просторових координат у стаціонарних течіях і додатково залежить від часу у нестационарних – із асимптотичним виходом на стаціонарний режим під час розгону тіла. Відкрите та доведене явище часткового ковзання на поверхні тіла в області розвитку течії. Запропоновано використовувати в області розвитку течії замість умови прилипання умову часткового ковзання, суть якої полягає у поступовому, а не миттєвому, розгоні рідини на поверхні рухомого тіла – від нульової швидкості до швидкості тіла.

Показано, що стаціонарні компактні вихорі є в'язкими течіями. Саме в'язкість є тим механізмом, що здатний здійснювати (само) баланс однієї сили, що є дуже важливим для фізичних уявлень. На підставі цього, отримано ряд компактних аналогів моделей вихрових течій, що генеруються при обтіканні поверхні літака під час його польоту.

Практичне значення та використання результатів дисертаційного дослідження полягає в тому, що вироблене розуміння сутності відмінності течії в примежовому шарі в прямій задачі (руху тіла в нерухомій рідині) та оберненій задачі (обтікання рідиною нерухомого тіла). Течія в примежовому шарі описується не спеціальним рівнянням, а прямим застосуванням рівнянь механіки рідини та газу (рівняння Нав'є-Стокса). Таке стало можливим завдяки відходу від припущень сталості молекулярної в'язкості та миттєвого прилипання частинок рідини до поверхні рухомого тіла. Ще одним практичним значенням є те, що повної оберненості польоту літака та обтікання нерухомої моделі в аеродинамічній трубі немає. Отже, рекомендується проводити виміри в лабораторних умовах саме на рухомих моделях літаків (крил), що максимально наближує експеримент до реального польоту. Практичні результати є такими: методика проведення експерименту імітації польоту літака; методика розрахунків ламінарної течії в примежовому шарі.

Таким чином у представленій роботі розв'язана наукова проблема, яка має велике значення для літакобудування України і полягає в правильному моделюванні та розрахунку течії навколо поверхні рухомого тіла.

Результати даної дисертаційної роботи запроваджено у навчальний процес кафедри як матеріал практичних занять з дисциплін “Моделювання та розрахунок робочих процесів в рідинно-газових системах ЛА”, а також в магістерських курсових проектах (акт та довідка впровадження від 11.11.2024 та 16.12.2024).

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора. Дисертація Сун Лін 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, 2021), “Комп'ютерна гідромеханіка” (Київ, 2022), “Промислова гідравліка і пневматика” (м. Київ, 2022), “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці” (Київ, 2023), “Computer Hydromechanics” (Kyiv, 2024).

Основні положення та результати викладено в 12 наукових працях, із них 5 публікацій 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., Song L. Optimal Character and Different Nature of Flows in Laminar Boundary Layers of incompressible Fluid Flow *Problems of Friction and Wear*. 2022. № 4(97). P. 52-60.

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

Особистий внесок Song L. Розв'язання задач, аналіз отриманих

результатів.

2. Lukianov Pavlo, Song Lin. Unsteady Incompressible Laminar Boundary Layer: Time and Space Variable Molecular Viscosity. *Авіаційно-Космічна Техніка і Технологія*. 2023. № 3(187). С. 50-60.

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

Особистий внесок Song L. Концептуалізація, формулювання завдання, використання пакетів програм для розв'язку задач, аналіз результатів.

3. Lukianov Pavlo, Song Lin. Compact analogs of the models of vortex flows generated by aircraft flight. *Авіаційно-Космічна Техніка і Технологія*. 2023. № 5(191). С. 4-20.

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

Особистий внесок Song L. Концептуалізація, формулювання завдання, використання пакетів програм для розв'язку задач, аналіз результатів.

4. Lukianov Pavlo, Song Lin. Flow development region in the boundary layer: two-component molecular viscosity and partial slip. *Авіаційно-Космічна Техніка і Технологія*. 2023. № 6(192). С. 38-47.

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

Особистий внесок Song L. Концептуалізація, формулювання завдання, використання пакетів програм для розв'язку задач, розвиток математичної моделі, аналіз результатів.

5. Song L., Lukianov P.V., Badakh V.M., Tarasenko T.V. The effect of partial slip on the surface pressure distribution in a slightly compressible flow development region in the boundary layer. *Problems of Friction and Wear*. 2024. №3(104). P. 54-64.

Особистий внесок Song L. Постановка задачі, розв'язання задачі, обговорення результатів.

Особистий внесок Lukianov P.V. Аналіз отриманих результатів, обговорення.

Особистий внесок Badakh V.M. Обговорення постановки задачі та отриманих результатів.

Особистий внесок Tarasenko T.V. Обговорення постановки задачі та отриманих результатів.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

6. Лук'янов П.В., Сунь Л. Стационарна оптимальна турбулентна течія у плоскому каналі: аналітичний розв'язок на підставі моделі Рейнольдса-Буссинеска. *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: матеріали XXVI міжнародної наук.-техн. конф., м. Київ, 7--10 вересня 2021 р. Київ-Херсон, 2021. С. 201--203.*

7. Лук'янов П.В. Сунь Л. Стационарна оптимальна турбулентна течія у круглій трубі: аналітичний розв'язок на підставі моделі Рейнольдса-Буссинеска.

Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: матеріали XXVI міжнародної наук.-техн. конф., м. Київ, 7--10 вересня 2021 р. Київ-Херсон, 2021. С. 204--206.

8. Лук'янов П.В., Сун Л. Чисельне знаходження розв'язку для стаціонарного ламінарного граничного шару нестисливої рідини на циліндричній поверхні. *Комп'ютерна гідромеханіка*: матеріали VIII міжнародної наук.-практ. конф. м. Київ, 27-28 вересня 2022 р. Київ. 2022. С. 53-54.

9. Лук'янов П.В., Сунь Л. Турбулентний примежовий шар стаціонарної течії нестисливої рідини. *Промислова гідравліка і пневматика*: матеріали XXIII міжнародної наук.-техн. конф. АС ПГП, м. Київ, 15-16 грудня 2022 р. Київ, 2022. С. 41.

10. Лук'янов П.В., Сунь Л. Просторова залежність молекулярної в'язкості в ламінарній течії Куетта. *Промислова гідравліка і пневматика*: матеріали XXIII міжнародної наук.-техн. конф. АС ПГП, м. Київ, 15-16 грудня 2022 р. Київ, 2022. С. 42-43.

11. Лук'янов П.В., Сунь Л. Ламінарна течія в'язкої нестисливої рідини внаслідок рівномірного розгону площини. *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці*: матеріали XXVII міжнародної наук.-техн. конф., м. Київ, 31 травня – 2 червня 2023 р. Київ, 2023. С.15--17.

12. Lukianov P., Song L. Pressure field distribution in incompressible flow development region of laminar boundary layer. *Computer Hydromechanics: materials of IX Intern. Conf. Kyiv, October 1-2, 2024. Kyiv, 2024. p. 109-110.*

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів основної частини, висновків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 153 сторінки, із них – 123 основного тексту. Робота містить 15 рисунків. Список використаних джерел налічує 112 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 Сун Лінь проявив себе як творчий дослідник і науковець, здатний самостійно на високому науково-методичному рівні вирішувати наукові та практичні завдання. Він 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 Сун Лінь на тему “Моделювання та розрахунок процесів обтікання просторових тіл зі складною геометрією поверхні”

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Сун Лінь 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 та розрахунків процесів обтікання просторових тіл зі складною геометрією поверхні”, подану Сун Лін 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:

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

Балалаєва Антона Валерійовича, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Офіційними опонентами:

Сохацького Анатолія Валентиновича, доктора технічних наук, професора, професора кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів

Ковальова Василя Анатолійовича, доктора технічних наук, професора, професора кафедри прикладної гідро-аеромеханіки і механотроніки НТУУ КПІ.

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