РЕЦЕНЗІЯ
кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Аерокосмічного факультету Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут» Балалаєва Антона Валерійовича на дисертаційну роботу Сун Лінь
«Моделювання та розрахунок процесів обтікання просторових тіл зі складною геометрією поверхні», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

Актуальність дисертаційної роботи

Дисертаційна робота присвячена актуальному питанню моделюванню та розрахунку нестисливої та слабко стисливої ламінарної течії рідини в примежовому шарі, вихроутворенню (як ламінарному так і турбулентному), яке відбувається при обтіканні поверхні літака під час його польоту. Автор досліджує вирішення проблеми коректного опису руху рідини при обтіканні просторових тіл.

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

Дисертаційна робота виконана на кафедрі гідрогазових систем Державного некомерційного підприємства «Державного університету Київський авіаційний інститут», автор приймав участь у виконанні науково-дослідної роботи, яка проводилась на кафедрі гідрогазових систем у 2023-2024 роках “Дослідження фізичних процесів в гідравлічних і пневматичних пристроях та елементах конструкцій рідинногазових систем літальних апаратів” (Державний реєстраційний номер 0122U201453).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Здобувачем вирішено низку завдань, що сприяло реалізації поставленої мети. Належний рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації забезпечені, зокрема, використанням широкої джерельної бази. В дисертації наявна системність та ясність викладення матеріалу. Висновки дисертаційної роботи цілком обґрунтовані та коректні.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів в дисертаційній роботі полягає в наступному:

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 нестаціонарних 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.

Практичне значення отриманих результатів та рекомендацій щодо їх можливого використання.

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 застосування рівнянь механіки рідини та газу (рівняння Нав'є-Стокса). Таке стале можливим завдяки відходу від припущень сталості молекулярної в'язкості та миттєвого прилипання частинок рідини до поверхні рухомого тіла.

Практично вагомими вважаються такі результати:

- методика проведення експерименту імітації польоту літака;
- методика розрахунків ламінарної течії в примежовому шарі;
- методика розрахунку ламінарної течії в області розвитку примежового шару.

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 дисципліни "Моделювання та розрахунок робочих процесів в рідинно-газових системах літальних апаратів", а також в магістерських курсових проєктах (акт впровадження від 11.11.2024, довідка впровадження 16.12.2024).

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому.

Структура дисертації є обґрунтованою та логічно викладеною, включає вступ, чотири розділи з висновками для кожного розділу, загальні висновки та додатки.

У вступі автор сформулював актуальність досліджуваної теми, мету, задачі для досягнення мети, наукову новизну, практичну цінність результатів.

У першому розділі «Огляд існуючого матеріалу за тематикою» автор проводить критичний аналіз сучасного стану проблеми коректного опису руху рідини при обтіканні просторових тіл. Розглядаються питання стаціонарного ламінарного примежового шару нестисливої рідини на тілі, нестаціонарного ламінарного примежового шару нестисливої рідини на тілі. Також автор приділяє увагу питанню моделювання та розрахунку області розвитку потоку в примежовому шарі, формування компактних вихрових течій під час польоту літака. Проводячи аналіз існуючих наукових публікацій за тематикою дослідження, автор акцентує увагу на важливості використання принципово нового підходу щодо опису

ламінарного примежового шару нестисливої і слабко стисливої течії рідини.

У другому розділі «Теоретичне дослідження нестисливої течії рідини в ламінарному примежовому шарі» автор пропонує оригінальний підхід до аналітичного опису сталого ламінарного примежового шару нестисливої рідини через відсутність фізично підтвердженого розв'язку найпростішої задачі про стаціонарний рух нескінченної площини в рідині, що є нерухомою на нескінченності.

Автор доводить, що на швидкостях, які не перевищують значення числа Маха M = 0,2 (тобто до 70 м/с), що характерно для злітного режиму і з математичної точки зору відповідає нестисливій течії, у наближенні ламінарного примежового шару молекулярна в'язкість є змінною залежно від відстані до поверхні тіла та часу. Використовувана в даний час модель Стокса, заснована на сталості молекулярної в'язкості для нестисливої течії, призводить до свідомо помилкових результатів. За представленими результати у другому розділі, автор висуває гіпотезу щодо необхідності переосмислення проведення експериментів в аеродинамічних трубах.

У третьому розділі «Область розвитку течії в примежовому шарі: двокомпонентна молекулярна в'язкість та часткове ковзання» автор розробляє удосконалену модель в'язкої н'ютонівської рідини в області розвитку течії в примежовому шарі. На підставі припущень про змінний характер молекулярної в'язкості, яка вже має дві складові, та відходу від виконання умови прилипання, отримані аналітичні розв'язки для обох складових швидкості, а також обох складових молекулярної в'язкості. Також, автором наведено порівняння отриманих результатів із результатами інших робіт.

У четвертому розділі «Розвиток компактних аналогів моделей вихрових течій, що виникають під час польоту літака» шляхом використання методів варіаційного числення показано можливість утворення всередині примежового шару нестисливої рідини квазітвердотільного обертального руху. Автор показує, що урахування в'язкості вказує на можливий, завдяки нестійкості Кельвіна-Гельмгольца, перехід течії від плоско паралельного руху до щойно вказаного обертального. Крім того, в роботі отримані дві нових моделі вихрової течії Бюргерса-Ротта. Перша модель використовує загальний розв'язок, отриманий Бюргерсом, але ця модель відповідає комбінованому вихору: хоча поле швидкості в ньому є неперервним, поле завихрення має розрив – в точці максимуму поля швидкості. Доводиться, що такий підхід є цілком можливим: рівняння руху задовольняється усюди, тобто у кожній точці простору дотичні напруження є неперервними функціями. Оскільки периферія вихору Бюргерса-Ротта є нестійкою течією, то запропоновано

іншу модель – із ламінарним ядром і турбулентною периферією. Рух частинок у периферійний області описується іншим, ніж у Бюргерса, розподілом швидкості. Також автором розглянуто можливе використання відомих моделей компактних вихрових течій при моделюванні вихрової доріжки фон Кармана.

У висновках автор представив у стислому вигляді основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У додатках представлені акт та довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Повнота викладених наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Основні положення дослідження викладені у публікаціях автора, кількість яких відповідає діючим вимогам. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані у 12 друкованих працях, серед яких 5 – у фахових виданнях України, 7 – матеріали та тези доповідей науково-технічних конференцій.

Недоліки та зауваження.

Автором виконана значна науково-дослідна робота, результатами які стали нові наукові результати, проте слід зазначити наступні зауваження:

- У назві роботи не відображено те, що в дисертації досліджується саме нестислива течія рідини в примежовому шарі, що утворюється поблизу поверхні тіла під час його руху у нерухомій рідині.
- Доцільно було б більш конкретно сформулювати предмет досліджень.
- Висновки у другому, третьому та четвертому розділах перенасичені поясненнями, доцільно було б більш конкретно описати основні висновки за цими розділами.
- За текстом дисертації зустрічаються стилістичні, граматичні та синтаксичні помилки, порушення правил оформлення графічної інформації.

Вважаю, що виявлені зауваження не є значимими та не зменшують позитивне враження від проведеної роботи.

Висновки.

Вважаю, що дисертаційна робота на тему «Моделювання та розрахунок процесів обтікання просторових тіл зі складною геометрією поверхні» здобувача Сун Лінь є закінченою, теоретично та методологічно

обґрунтованою, виконана на високому науковому рівні, має наукову новизну та практичну значущість.

Дисертація відповідає спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» та чинного «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор Сун Лінь заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

Рецензент

кандидат технічних наук,
доцент, доцент кафедри прикладної
механіки та інженерії матеріалів
Аерокосмічного факультету
Державного некомерційного
підприємства «Державний
університет «Київський авіаційний
інститут»

Антон БАЛАЛАЄВ

Підпис Балалаєва А. засвідчую
Вчений секретар КАІ
Інна Набок