

ВІДГУК

офіційного опонента Рогового Андрія Сергійовича
на дисертаційну роботу Павлової Катерини Сергіївни
**«Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та
ракетно-космічної техніки»,**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 «Механічна інженерія»
за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

Актуальність теми.

У сучасних умовах функціонування технічних систем без використання автоматичних та напівавтоматичних систем керування вже неможливе. Електронні системи керування, по суті, реалізуються у вигляді програмного забезпечення, тоді як механічні системи керування передбачають передачу зусиль (навантажень) між окремими елементами системи. У процесі функціонування таких систем визначальну роль відіграють фізичні явища, що супроводжують передавання енергії та зусиль.

В авіаційній галузі широке застосування мають гідравлічні та електрогідравлічні приводи, які виконують функції основних виконавчих підсистем. Інерційні властивості фізичних тіл, зокрема робочого середовища – рідини, зумовлюють появу нестационарних режимів течії. Зокрема, під час передавання зусиль у рідинному середовищі виникає явище імпульсного тиску – так званий гідравлічний удар, що суттєво ускладнює процеси керування. Відповідно, під час проектування та розрахунку приводних систем, необхідно враховувати вплив нестационарних процесів.

Сучасний рівень математичного опису фізичних процесів у системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки залишається недостатньо розвиненим. У зв'язку з цим актуальним науково-технічним завданням є розроблення адекватних моделей, що достовірно відображають динаміку фізичних процесів у зазначених системах.

Актуальність теми дослідження також підтверджується її зв'язком із науково-дослідною роботою «Дослідження фізичних процесів у гідравлічних і пневматичних пристроях та елементах конструкцій рідинно-газових систем літальних апаратів» (реєстраційний номер 0122U201453).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Рівень обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі Павлової К.С., є високим. Він ґрунтується на всебічному аналізі науково-технічної літератури з відповідної тематики, чітко сформульованих меті та завданнях дослідження, використанні сучасних методів аналізу, а також на зіставленні й критичному оцінюванні отриманих результатів у контексті існуючих наукових праць. Висновки сформульовано логічно й аргументовано. Теоретична частина дослідження базується на сучасному математичному апараті та враховує фізичні явища, характерні для

фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів підтверджується їх узгодженістю з відомими раніше залежностями, що засвідчує наукову обґрунтованість зроблених висновків і рекомендацій. Достовірність також забезпечується коректною постановкою математичних задач, верифікацією використаних моделей з даними інших авторів, застосуванням апробованих методів математичного аналізу та математичної фізики, а також відповідністю математичних моделей фізичній природі досліджуваних процесів. Практичну цінність наукових результатів підтверджено удосконаленням моделей керування літальними апаратами.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- вперше обґрунтовано важливість сукупного врахування конвекції та стаціонарного тертя в моделі нестаціонарної течії (гідравлічний удар) крапельної рідини;
- вперше описано формування та поширення ударного імпульсу в бульбашковій рідині із урахуванням конвекції та тертя аналітичним шляхом;
- вперше аналітично отримано функціональну залежність поля тиску від швидкості поширення ударного імпульсу – як для моделі крапельної так і бульбашкової рідини;
- вперше розроблено аналітичну модель, що описує взаємодію нестаціонарної течії бульбашкової рідини з елементами конструкції системи, з використанням переходу до автомодельної змінної. Такий підхід є принципово новим для дослідження подібного типу задач;
- удосконалено модель взаємодії нестаціонарної 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.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в удосконаленні математичних моделей, що описують нестаціонарні течії рідини, зокрема явище гідравлічного удару, з урахуванням сумісного впливу конвекції та тертя. Доведено, що ці ефекти відіграють ключову роль у моделюванні бульбашкової рідини, яка відповідає реальним робочим середовищам у гідравлічних системах літаків і вертольотів. Встановлено, що рух поршня гідроциліндра можна описати через нестаціонарну течію рідини, що підтверджує взаємозв'язок між динамічними характеристиками робочого середовища та механічними елементами конструкції. Отримані нелінійні моделі, що враховують вплив ударного імпульсу, можуть бути використані для підвищення точності систем керування літаком, зокрема при моделюванні первинного контролю. Крім того, показано, що рух закрилків і

штоків приводів не підпорядковується лінійним залежностям, особливо при кутах відхилення, близьких до 0,5 радіана. Це підтверджує необхідність врахування нелінійних ефектів у процесі проектування та вдосконалення механізмів керування аеродинамічними поверхнями. Результати дослідження можуть бути використані в авіабудуванні при розробці гідравлічних систем літаків і вертольотів, механізації крила та інших керуючих систем, де моделювання фізичних процесів ще не є достатньо точним.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Зміст дисертаційної роботи здобувачки Павлової Катерини Сергіївни відповідає освітньо-науковій програмі третього рівня вищої освіти «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Рівень оригінальності (95,0%) свідчить про те, що дисертаційна робота Павлової Катерини Сергіївни є результатом самостійних досліджень здобувачки і не містить елементів плагіату та запозичень, компіляції та фальсифікації. На використані в роботі ідеї та результати інших авторів наводяться належні посилання.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 11 наукових працях, у тому числі в 4 публікаціях у наукових фахових виданнях України. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Павлової Катерини Сергіївни складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел, 2 додатків.

У вступі обґрунтовано напрямок досліджень та актуальність моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки.

У *першому розділі* представлено критичний огляд літературних джерел, релевантних тематиці дослідження. Автор демонструє обізнаність із сучасним станом досліджень у галузі моделювання систем керування авіаційної техніки та гідродинаміки. Огляд літератури є досить широким, але місцями не вистачає глибшого аналізу порівнюваних моделей та їхніх обмежень, порівняння робіт з числовим вирішенням подібних задач та моделей.

У *другому розділі* розглядається математична модель процесу керування закрилками малих літаків з використанням різних типів приводів. Автором проведено аналіз недоліків існуючих моделей та запропоновано вдосконалення з урахуванням нелінійної динаміки та сучасних підходів до моделювання тертя. Розділ містить важливі результати щодо аналітичного розв'язку нелінійної задачі та оптимізації керування приводом закрилків.

Однак, було б корисно навести більше конкретних прикладів застосування розробленої моделі до реальних систем керування літаками. Бажано було б дати більше пояснень до рис. 2.2, наприклад, на ньому немає точок B_1 та B_2 , які згадуються у подальшому тексті, що ускладнює аналіз отриманих розв'язків.

У *третьому розділі* досліджуються нестационарні течії рідини в трубопроводах, зокрема, явище гідравлічного удару. Розглянуто моделі для однорідної рідини та рідини з бульбашками газу, з урахуванням конвекції та тертя. У цьому розділі представлено глибокий аналіз гідродинамічних процесів. Однак, обговорення практичних наслідків отриманих результатів для проектування гідравлічних систем могло б бути розширене. Загалом можна стверджувати, що включення до моделі механізмів конвекції та в'язкості стало важливим удосконаленням для більш точного опису нестационарної течії. На відміну від лінійної моделі, де вся рідина рухається з постійною швидкістю, у моделі, запропонованій у дисертації, ударний імпульс поширюється в просторі, локалізується в обмеженій області та має змінну швидкість розповсюдження залежно від координат.

У *четвертому розділі* розроблено нелінійну модель взаємодії нестационарної течії рідини з деформівною структурою. Проведено порівняльний аналіз різних підходів до розв'язання задачі та досліджено вплив різних факторів на динаміку взаємодії. Цей розділ відзначається складністю математичних моделей. Для підвищення читабельності корисно було б додати більше ілюстрацій та спрощених прикладів, що демонструють застосування моделі. Рис. 4.3 та 4.4 відсутні, хоча посилання на них є.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації з 127 найменувань.

У додатках наведено акт впровадження та довідка про впровадження результатів в навчальний процес.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. Дисертація має сильний теоретичний фундамент, але потребує більшого акценту на практичному застосуванні розроблених моделей та їхньої валідації на експериментальних даних.

2. У деяких розділах бракує візуалізації результатів у вигляді графіків, діаграм або 3D-моделей, що полегшило б їхню інтерпретацію.

3. У висновках можна було б чіткіше сформулювати рекомендації для майбутніх досліджень, зокрема, напрямки подальшого вдосконалення розроблених моделей та їхньої адаптації до конкретних інженерних задач.

4. В тексті дисертації часто є посилання на рисунки або формули інших авторів, що ускладнює порівняння. Доцільно було б навести ці графіки чи формули з порівнянням отриманих авторкою результатів.

5. У огляді бажано було б навести ілюстративний матеріал інших досліджень щодо деформації бульбашки під час проходження ударного імпульсу.

6. Текст рукопису дисертації, має окремі неточності, орфографічні та синтаксичні помилки.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Павлової Катерини Сергіївни «Моделювання фізичних процесів в системах керування авіаційної та ракетно-космічної техніки» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань «13 Механічна інженерія». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувачка Павлова Катерина Сергіївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «13 Механічна інженерія» за спеціальністю «134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри гідравлічних машин ім. Г.Ф. Проскури

Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
доктор технічних наук, професор

«12» травня 2025 року

