

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Болюбаша Євгена Сергійовича
на тему «Удосконалення системи розділення ракетно-космічних
елементів за допомогою піротехнічних пристроїв»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 Механічна інженерія
за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Актуальність теми дисертації.

Актуальність дисертації зумовлена необхідністю підвищення ефективності, надійності, зниження вартості та ваги систем розділення в умовах сучасних вимог до ракетно-космічної техніки (РКТ). Лінійні кумулятивні заряди (ЛКЗ) є перспективними виконавчими елементами таких систем, однак їх ефективне використання потребує науково обґрунтованих рішень щодо вибору типорозміру (D) та фокусної відстані (F), особливо при роботі з багатошаровими перешкодами складної конструкції. Наявні методики є недостатньо точними або непридатними для сучасних багатошарових перешкод, у зв'язку з цим дисертаційна робота здобувача Болюбаша Є.С., яка спрямована на вдосконалення підходів до розрахунку та експериментальної перевірки параметрів ЛКЗ для забезпечення гарантованого розділення конструкцій РКТ є актуальною.

Вирішення цього завдання має комплексний характер та пов'язане з визначенням оптимальних геометричних та енергетичних параметрів ЛКЗ, зокрема раціонального типорозміру, фокусної відстані, а також напівемпіричних коефіцієнтів, що враховують вплив конструктивних, технологічних і матеріальних факторів на глибину проникнення кумулятивного струменя в багатошарову перешкоду.

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

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури, що налічує 141 найменування, та додатків. Загальний обсяг дисертації 236 сторінки.

У вступі автором висвітлено актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт та предмет досліджень. Сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів досліджень. Крім того, наведено дані щодо апробації матеріалів дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено інформаційно-аналітичні дослідження щодо сучасних уявлень про елементи систем розділення та ЛКЗ, виконаний огляд кумулятивних зарядів та описане їх використання в РКТ. Також в першому розділі виконано постановку задач, вирішення яких дозволить досягнути головної мети роботи.

У другому розділі наведено інформацію щодо хімічного складу та фізико-механічних характеристик матеріалів, які були досліджені в роботі. Описано методику отримання та обробки результатів експериментальних

досліджень. Визначено ключові фактори, що впливають на процес проникнення кумулятивного струменя, та обґрунтовано доцільність застосування однофакторного та біноміального експериментів. Наведено принциповий підхід, на якому базується розроблена методика експериментального визначення фокусної відстані та глибини проникнення кумулятивного струменя в перешкоду, яка дозволяє зменшити витрати та підвищити точність.

У третьому розділі в результаті теоретичного дослідження встановлено, що класичні гідродинамічні моделі мають обмежену придатність для ЛКЗ з напівциліндричною кумулятивною виїмкою через відсутність точних параметрів. Обґрунтовано необхідність використання корекційних коефіцієнтів у формулі розрахунку глибини проникнення, зокрема впливу фокусної відстані (k_F), технологічних факторів (k_T) та інших фізичних ефектів (k). Уточнено вплив фокусної відстані на ефективність ЛКЗ: відхилення від оптимального значення суттєво знижує глибину проникнення. Через відсутність даних для ЛКЗ з напівциліндричною кумулятивною виїмкою та алюмінієвого сплаву 2219 запропоновано експериментальне визначення параметрів у діапазоні близькому до $F = (0,8 \dots 1,6)D$. Також розроблено уніфіковану дослідну конструкцію і адаптовано методики планування досліджень (з урахуванням специфіки досліджуваних ЛКЗ), які забезпечують точність при мінімальній кількості випробувань.

У четвертому розділі в результаті експериментального дослідження верифіковано розроблену методику визначення фокусної відстані та глибини проникнення кумулятивного струменя на прикладі алюмінієвого сплаву АМг6. Побудовано математичну модель для ЛКЗ діаметром 5 мм з напівциліндричною кумулятивною виїмкою, яка описує залежність глибини проникнення від фокусної відстані. Визначено оптимальну (4,86 мм) і раціональну (5,0 мм) фокусні відстані для ЛКЗ при проникненні кумулятивного струменя у перешкоду зі сплаву 2219, а також середню глибину проникнення - 6,15 мм. Розраховано напівемпіричні коефіцієнти: впливу фокусної відстані ($k_F = 0,9-1$), технологічний ($k_T = 0,89$) та загальний корекційний коефіцієнт ($k = 2,16$). Встановлено близько лінійний характер залежності глибини проникнення від діаметра ЛКЗ і доведено можливість екстраполяції результатів на інші типорозміри. Отримані дані можуть бути використані для проєктування систем розділення на основі ЛКЗ діаметром 4,5–7 мм (для сплаву 2219).

У п'ятому розділі запропоновано та реалізовано методику визначення раціонального типорозміру ЛКЗ для гарантованого прорізання багатошарової перешкоди. Розроблена математична модель обчислення еквівалентної товщини такої перешкоди враховує матеріальні та конструктивні параметри шарів такої перешкоди. Методика була верифікована в експериментах, які показали 100% збіг розрахункових і фактичних результатів прорізання. Для конкретного випадку багатошарової перешкоди з алюмінієвого сплаву 2219 і двох композиційних шарів обґрунтовано використання ЛКЗ діаметром 5 мм, що дозволило зменшити масу заряду та підвищити ефективність системи.

Проведена оцінка ймовірності безвідмовної роботи підтвердила високу надійність конструкції. Підтверджено, що запропоновану методику можна застосовувати для оптимізації систем розділення у РКТ.

В додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи Болюбаша Є.С. у роботі ДП «КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля та в навчальному процесі аспірантури цього ж підприємства, оцінювання функціональних груп виконавчих елементів системи розділення методом лінійного згортання частинних критеріїв та оцінювання впливу термічного розширення конструкції в польоті на величину фокусної відстані, показаний детальний приклад вимірювання глибини проникнення кумулятивного струменя в напівнескінченну перешкоду.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Болюбаша Є.С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка (зі змінами) та є завершеною науковою працею.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному.

Вперше розроблено експериментально-аналітичну методику визначення фокусної відстані та глибини проникнення кумулятивного струменя ЛКЗ з напівциліндричною кумулятивною виїмкою яка забезпечує квазінеперервну залежність параметрів проникнення в межах одного випробування завдяки встановленню ЛКЗ під малим кутом до поверхні перешкоди.

Вперше запропоновано математичну модель залежності глибини проникнення кумулятивного струменя від фокусної відстані для ЛКЗ діаметром 5 мм з напівциліндричною кумулятивною виїмкою при дії на напівнескінченну перешкоду з алюмінієвого сплаву 2219, що дозволяє прогнозувати ефективність заряду в широкому діапазоні фокусних відстаней.

Створено нову математичну модель розрахунку еквівалентної товщини з урахуванням фізико-механічних характеристик шарів матеріалу перешкоди і двофазної взаємодії, що знижує потребу у великій кількості натурних випробувань.

Вперше запропоновано методику визначення оптимального типорозміру ЛКЗ, що базується на зіставленні глибини проникнення струменя з еквівалентною товщиною багат шарової перешкоди з урахуванням фокусної відстані та подальшою експериментальною перевіркою. Методика є універсальною і може застосовуватись для нових типів матеріалів, різних поєднань матеріалів у багат шарових перешкодах.

В практичному плані застосування розроблених методик дозволяє на етапі проєктування точно визначати раціональні параметри ЛКЗ для гарантованого розділення багат шарових перешкод, що знижує витрати на розробку, підвищує ефективність і надійність систем розділення, а також сприяє зменшенню маси конструкцій та підвищенню корисного навантаження ракети-носія. Це створює передумови для підвищення ефективності та безпеки сучасних ракетно-космічних систем.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються узгодженістю теоретичних розрахунків із результатами натурних експериментів, а також статистичною оцінкою ймовірності безвідмовної роботи системи. Розроблена методика апробована на реальних зразках і забезпечує практичне зниження маси та підвищення ефективності систем розділення. Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, автор повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Болюбаша Євгена Сергійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана грамотною технічною мовою. Матеріали дисертації мають змістовну цілісність, послідовність та завершеність.

Дисертаційну роботу оформлено відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 1 статті у закордонному виданні, що індексується в наукометричних базах Web of Science Core Collection, Scopus; 3 статтях у фахових виданнях України. Також результати дисертації були апробовані на 11 наукових фахових науковотехнічних конференціях, що підтверджується наявними публікаціями матеріалів. Таким чином, наукові результати дисертаційної роботи повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Дисертаційні дослідження виконано на високому науково-технічному рівні. Принципових зауважень щодо змісту дисертації немає, але слід звернути увагу на наступне:

1. Недостатньо обґрунтовано вибір типу ЛКЗ напівциліндричної форми, не зрозуміло – чи є він ефективнішим в плані глибини проникнення на вагу заряду, чи є простішим у виконанні, чи є стабільнішим результатом. Адже класичний тип кумуляції (високий конус) має більший коефіцієнт пробиття перешкоди (табл. 1.1, стор. 53), то виходячи з головної проблеми – розділення – доречніше було б обрати для досліджень такий тип кумуляції.

2. В роботі основну увагу зосереджено на дослідженні впливу двох факторів – типорозміру (діаметру) та фокусної відстані ЛКЗ, хоча в темі дисертації вказано, що удосконаленню підлягала загалом система розділення. Було б доречно розглянути також інші параметри системи: можливість застосування різних речовин заряду, різних форм ЛКЗ, матеріалів оболонки тощо.

3. В результаті експериментального дослідження глибини проникнення кумулятивного струменю з постійною відстанню (паралельне розташування) отримали значний розкид значень (стор. 158): відхилення від узагальненого середнього від -14,8% до +11,2%, тобто близько 25%. Пояснили це ймовірними коливаннями якості виконання ЛКЗ та можливою неоднорідністю структури матеріалів, посилаючись на літературні джерела, без проведення додаткових досліджень або повторних випробувань. Такий розкид значень впливає на ефективність, надійність системи розділення, викликає необхідність збільшення типорозміру ЛКЗ, тобто ваги системи розділення. Тому було б доречно дослідити це питання більш ґрунтовно та підтвердити гіпотезу експериментально, а краще - запропонувати вирішення цієї проблеми.

Висловлені зауваження не є суттєвими і не зменшують загальну наукову новизну й практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота Болюбаш Євгена Сергійовича на тему «Удосконалення системи розділення ракетно-космічних елементів за допомогою піротехнічних пристроїв» є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, яка виконана на високому науковому рівні та не порушує принципів академічної доброчесності. Сукупність теоретичних та практичних результатів дисертаційної роботи Болюбаш Євгена Сергійовича розв'язує важливе наукове завдання, що має істотне практичне значення для галузі знань 13-Механічна інженерія та відповідає вимогам 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.

Здобувач Болюбаш Євген Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Офіційний опонент:

професор кафедри конструювання,
технічної естетики та дизайну
механіко-машинобудівного факультету
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»,
доктор технічних наук, старший дослідник

Конон

Ганна КОНОНЕНКО

Підпис Г.А. Кононенко затверджую:
Вчений секретар НТУ «Дніпровська політехніка»
к.п.н., доц.

Калюжна
Таїсія КАЛЮЖНА

М.П.

«09» червня 2025 року