

РЕЦЕНЗІЯ

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.

Дисертаційна робота Болюбаша Є.С. присвячена вирішенню важливої науково-технічної задачі – удосконаленню системи розділення ракетно-космічних елементів за допомогою піротехнічних пристроїв. Вирішення даної задачі має комплексний характер та пов'язане з підвищенням ефективності піротехнічної системи розділення шляхом визначення раціонального типорозміру лінійного кумулятивного заряду (ЛКЗ) та раціональної фокусної відстані.

Актуальність представленої дисертаційної роботи обумовлена необхідністю зниження вартості запусків ракет-носіїв, зменшення маси ракетних систем та космічних апаратів, при одночасному забезпеченні найвищого рівня надійності та безпеки польотів.

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

Дисертація є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, яка складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (141 найменування) та 5 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 236 сторінок, містить 87 рисунків і 36 таблиць.

У вступі автором розкрито актуальність теми, її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету, об'єкт та предмет досліджень, а також наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів досліджень та інформація, щодо апробації матеріалів дисертації.

У першому розділі проведено науково-технічний аналіз джерел інформації щодо виконавчих елементів систем розділення, лінійних кумулятивних зарядів, особливостей процесу розділення перешкоди кумулятивним струменем. Проведений аналіз встановив, що наявні методики, засновані на класичній гідродинамічній теорії є недостатніми для визначення глибини проникнення ЛКЗ,

також відсутні математичні залежності для визначення параметрів пов'язаних з фокусною відстанню для перешкоди зі сплаву 2219, відсутні математичні моделі для визначення раціонального типорозміру ЛКЗ для перерізання багатшарових перешкод.

У другому розділі детально описуються матеріали, використані у дослідженні, та застосовані методи, включаючи моделювання взаємозв'язку між глибиною проникнення і фокусною відстанню, планування та проведення експерименту, регресійний аналіз, а також розроблені автором методика експериментального визначення фокусної відстані і глибини проникнення кумулятивного струменю (КС), та алгоритм визначення оптимальної фокусної відстані.

Третій розділ присвячено теоретичному дослідженню визначення фокусної відстані і глибини проникнення КС. За результатами аналізу автором уточнено формулу для розрахунку глибини проникнення КС ЛКЗ. Також обґрунтовано об'єм експериментальних досліджень та розроблено дослідну конструкцію.

Четвертий розділ представляє верифікацію авторської методики експериментального визначення фокусної відстані та глибини проникнення КС. Детально описано результати випробувань на напівнескінчених перешкодах зі сплав марки 2219 та АМг6, визначено функціональну залежність глибини проникнення від фокусної відстані, оптимальні та раціональні параметри фокусної відстані, а також оцінено вплив фокусної відстані, технологічних та інших факторів на глибину проникнення КС.

П'ятий розділ включає постановку задачі дослідження прорізання багатшарової перешкоди, аналіз механізму її руйнування, розробку та верифікацію методики визначення раціонального типорозміру ЛКЗ для гарантованого розділення багатшарової перешкоди, включаючи розробку математичної моделі розрахунку її еквівалентної товщини. Експериментально підтверджено раціональний типорозмір ЛКЗ для розділення багатшарової перешкоди, що складається з одного шару зі сплаву марки 2219 та двох шарів з композиційного багатфункціонального покриття.

В додатках приведено акти впровадження результатів роботи, виконано оцінку функціональних груп виконавчих елементів систем розділення методом лінійного згортання частинних критеріїв, впливу термічного розширення конструкції в польоті на величину фокусної відстані, процес вимірювання глибини проникнення КС в напівнескінченну перешкоду.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям галузі знань 13 Механічна інженерія.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, котрі містяться у дисертації, підтверджуються використанням комплексного підходу, що включає теоретичний аналіз, застосування методів математичної статистики та регресійного аналізу для обробки даних, а також проведенням фізичних експериментів. Результати експериментів верифіковано та використано для уточнення розрахункових моделей, що забезпечує високий рівень достовірності та обґрунтованості отриманих наукових положень і висновків.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження, що рецензується, полягає в наступному:

вперше розроблено методику експериментального визначення фокусної відстані та глибини проникнення кумулятивного струменя ЛКЗ в перешкоду, яка відрізняється від наявних тим, що ЛКЗ встановлюється під малим кутом ($1-2^\circ$) до перешкоди, що дозволяє дослідити квазінеперервний характер проникнення КС при змінній фокусній відстані в заданому інтервалі.

отримано розвиток розрахунку оптимальної фокусної відстані ЛКЗ на основі квадратичної апроксимації. Вперше розроблено математичну модель залежності глибини проникнення КС від фокусної відстані ЛКЗ діаметром 5 мм з напівциліндричною КВ. Визначено оптимальну (4,86 мм) і раціональну (5,0 мм) фокусні відстані. Удосконалено розрахунок глибини проникнення КС ЛКЗ з напівциліндричною КВ в перешкоди складної геометричної форми шляхом інтеграції гідродинамічного підходу з новими напівемпіричними коефіцієнтами, які враховують вплив фокусної відстані (kF), технологічних факторів (kT) та інших фізичних ефектів (k), що відповідає особливостям проникнення КС ЛКЗ з напівциліндричною КВ.

вперше розроблено методику визначення раціонального типорозміру ЛКЗ, яка базується на порівнянні значення глибини проникнення КС (з врахуванням впливу фокусної відстані) з еквівалентною товщиною багатопарової перешкоди і включає етап експериментального підтвердження. Вперше розроблено математичну модель для розрахунку еквівалентної товщини багатопарової перешкоди, що враховує товщину, густину та міцність матеріалів кожного шару, а

також інтегрує двофазний (гідродинамічний та міцнісний) характер взаємодії через вагові коефіцієнти. Це дозволяє скоротити об'єм експериментальної перевірки розділення багат шарових перешкод елементів РКТ. Дістало подальшого розвитку уявлення про вплив фокусної відстані ЛКЗ та сукупності технологічних факторів на процес проникнення КС ЛКЗ з напівциліндричною КВ.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач 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 Болюбаша Євгена Сергійовича написана грамотною українською мовою, має змістовну цілісність, послідовність та завершеність. Стиль викладення матеріалу відповідає прийнятому в науковій літературі.

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 15 наукових публікаціях здобувача, серед яких 1 стаття у закордонному виданні, що індексується в наукометричних базах Web of Science Core Collection, Scopus; 3 статті у фахових виданнях України. Без співавторства виконано 3 статті.

У матеріалах наукових конференцій і збірниках тез доповідей опубліковано 11 праць.

Таким чином, наукові результати дисертаційної роботи повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Дисертаційне дослідження виконано на високому науково-технічному рівні. Принципових зауважень щодо змісту дисертації немає. Робота включає основні результати досліджень і дає необхідне уявлення відносно змісту, актуальності,

наукової новизни, практичної значимості і достовірності результатів але слід звернути увагу на наступні питання:

- деякі рисунки (наприклад, рис. 3.3 «Залежність глибини проникнення КС...» та рис. 4.15 «Середнє значення глибини проникнення КС...» мають дрібний шрифт підписів, що дещо ускладнює їх сприйняття без збільшення. Рекомендується оптимізувати шрифт для покращення сприйняття інформації.

- у пункті 4 наукової новизни, що наведена у розділі Вступ, підкреслюється можливість розрахунку глибини проникнення КС ЛКЗ в перешкоди складної геометричної форми. У розділі 4.2.5 автором використовується термін «перешкода змінної товщини», що фактично є одним і тим самим. Доцільно дотримуватись однієї термінології.

- при описі розробленої формули (4.17) розрахунку глибини проникнення КС в напівнескінченну перешкоду, необхідно чіткіше описати переваги розробленої моделі, щодо усунення обмежень пов'язаних з важкістю встановлення довжини КС та безпосереднього використання коефіцієнту k , що враховує інші фізичні ефекти проникнення КС. Це дозволить підсилити обґрунтування наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів.

- у роботі застосовується гідродинамічна модель Лаврентьєва для опису процесу проникнення КС. Однак, зважаючи на те, що швидкості проникнення КС у ЛКЗ знаходяться в діапазоні 2200-3500 м/с (що нижче початкових припущень формули Лаврентьєва), було б доцільно надати більш детальне обґрунтування її використання саме в цьому діапазоні та розкрити вплив введених емпіричних коефіцієнтів на дане обмеження.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну високу наукову новизну та практичну значимість результатів дисертаційної роботи й не впливають на її позитивну оцінку.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота Болюбаша 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 Болюбаша Євгена Сергійовича розв'язує важливе наукове завдання, що має істотне практичне значення для ракетно-космічної галузі України 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.

РЕЦЕНЗЕНТ

Начальник відділу міцності,
навантажень, динамічних характеристик
ДП «КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля»,
кандидат технічних наук



Дмитро КЛИМЕНКО

« 09 » « 06 » 2025 року

Підпис Дмитра КЛИМЕНКА засвідчую:

Учений секретар ДП «КБ «Південне»



Лариса ПОТАПОВИЧ