

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. Генерального директора
ДП «КБ «Південне»

Михайло БОНДАР
« 19 » 05 2025р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне і практичне значення
результатів дисертації

на тему: УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ РОЗДІЛЕННЯ РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

здобувача наукового ступеню доктора філософії Болубаша Євгена Сергійовича

з галузі знань

13 Механічна інженерія

шифр, назва галузі знань

за спеціальністю

134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

шифр, назва спеціальності

Попередню експертизу проведено на засіданні секції НТР КБ-2 24 квітня 2025 року, протокол №5.

1. Актуальність теми дослідження. Актуальність зумовлена стрімким зростанням світового ринку космічних запусків та посиленням конкуренції. В умовах інтенсифікації польотів, жорстких вимог до безпеки, надійності та ефективності ракетно-космічних систем, особливого значення набуває вдосконалення їх ключових підсистем, зокрема, систем розділення (СР) ступенів та ракетно-космічних елементів, в тому числі систем аварійного припинення польоту. Серед виконавчих елементів в даних системах перспективними є лінійні кумулятивні заряди (ЛКЗ), що відрізняються високою енергетичною щільністю, компактністю та ефективністю. Проте, проектування систем розділення на основі ЛКЗ є складним завданням. Ефективність ЛКЗ, зокрема глибина проникнення кумулятивного струменя, залежить від правильності вибору таких проєктних параметрів, як типорозмір ЛКЗ та фокусна відстань, особливо при розділенні сучасних багатошарових

конструкцій, типових для ракетно-космічної техніки (РКТ). Існуючі методики та математичні моделі не забезпечують достатньої точності розрахунку глибини проникнення кумулятивного струменя ЛКЗ з напівциліндричною кумулятивною виїмкою (КВ) у такі перешкоди, а для розрахункового визначення типорозміру ЛКЗ відсутні.

Таким чином, науково обґрунтоване встановлення раціональних проектних параметрів ЛКЗ (типорозміру та фокусної відстані) для забезпечення гарантованого та ефективного розділення багат шарових перешкод елементів РКТ є актуальною та своєчасною науково-практичною задачею. Рішення цієї задачі сприятиме підвищенню ефективності, надійності та зниженню маси ракетно-космічних систем, що є важливим в сучасних умовах розвитку галузі.

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

Науково-дослідні роботи, теоретичне і експериментальне відпрацювання щодо удосконалення системи розділення ракетно-космічних елементів за допомогою піротехнічних пристроїв було виконано в ДП «КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля у межах наступних тематичних планів:

- «Концепція Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2021-2025 роки» схвалено розпорядженням кабінету Міністрів України від 13 січня 2021 р. №15-р.;
- «Стратегія космічної діяльності України на період до 2022 року», затверджена Наказом Державного космічного агентства України № 100 від 21.05.2015;
- Програми і проекти Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне ім. М.К. Янгеля».

3. Мета і завдання дослідження. Підвищення ефективності піротехнічної системи розділення шляхом визначення раціонального типорозміру лінійного кумулятивного заряду та раціональної фокусної відстані.

Об'єктом дослідження є процес проникнення кумулятивного струменю лінійного кумулятивного заряду з напівциліндричною

кумулятивною виїмкою в перешкоду в системах розділення ракетно-космічних елементів.

Предметом дослідження є ефективні проєктно-конструкторські рішення, що досягаються встановленням залежності глибини проникнення кумулятивного струменю від фокусної відстані і визначенням раціонального типорозміру лінійного кумулятивного заряду з напівциліндричною кумулятивною виїмкою для розділення багаточислової перешкоди, де перший шар з алюмінієвого сплаву марки 2219, а два наступні з композиційного покриття в системах розділення ракетно-космічних елементів.

4. Наукова новизна отриманих результатів.

В дисертації одержані такі нові наукові результати:

- 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.

- отримав розвиток розрахунок оптимальної фокусної відстані ЛКЗ на основі квадратичної апроксимації, який вперше реалізовано в алгоритмі визначення цього параметра, що дозволило підвищити точність розрахунку.

- вперше розроблено математичну модель залежності глибини проникнення КС від фокусної відстані ЛКЗ діаметром 5 мм з напівциліндричною КВ діаметром 2,3 мм, висотою корпусу ЛКЗ 4,3 мм наповненого гексогеном $0,0115 \text{ кг/м}$ у перешкоду зі сплаву 2219 в діапазоні фокусних відстаней від 4,1 до 6,9 мм, що дозволило визначити оптимальну ($F_{opt} = 4,86 \text{ мм}$) і раціональну ($F_{рац} = 5,0 \text{ мм}$) фокусні відстані.

- удосконалено розрахунок глибини проникнення КС ЛКЗ з напівциліндричною КВ в перешкоди складної геометричної форми шляхом інтеграції гідродинамічного підходу з новими напівемпіричними коефіцієнтами, що враховують вплив фокусної відстані (k_F), технологічних

факторів (k_T) 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 багат шарової перешкоди і включає етап експериментального підтвердження, що дозволяє виконувати гарантоване розділення багат шарових перешкод елементів РКТ.

- вперше розроблено математичну модель для розрахунку еквівалентної товщини багат шарової перешкоди ($S_{екв}$) стосовно дії КС ЛКЗ, що враховує товщину, густину та міцність матеріалів кожного шару, а також інтегрує двофазний (гідродинамічний та міцнісний) характер взаємодії через вагові коефіцієнти, що 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 (точність виготовлення, неоднорідність ВР тощо) на процес проникнення КС ЛКЗ з напівциліндричною КВ, що дозволило встановити особливості пошарового розділення визначеної перешкоди.

5. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації є таким:

- розроблено методики, алгоритм та математичні моделі, які дозволяють на етапах проєктування обґрунтовано визначати раціональні параметри (фокусну відстань, типорозмір) ЛКЗ для систем розділення РКТ, скорочуючи терміни та вартість проєктно-конструкторських робіт і експериментального відпрацювання внаслідок підвищення точності розрахунків та зменшення обсягу необхідних натурних випробувань.

- отримано конкретні, експериментально підтверджені проєктні параметри (раціональна фокусна відстань $F_{рац} = 5,0$ мм, раціональний типорозмір ЛКЗ $D = 5$ мм) для ефективного розділення багат шарової перешкоди, у якої перший шар зі сплаву 2219, а два наступні з композиційного

багатофункціонального покриття, що безпосередньо використовуються при розробці корпусного відсіку нової розробки (оцінка ймовірності безвідмовної роботи $P(t) \geq 0,99995$ за методом Босса).

- визначені на основі розроблених методик проєктні параметри ЛКЗ дозволили підвищити ефективність системи розділення: зменшено діаметр ЛКЗ на 28,6 %, масу ВР на 56 %, підвищено розрахункову приведену ефективність ЛКЗ на 126 %, знижено погонну масу ЛКЗ ($\sim 0,057$ кг/м), що безпосередньо сприяє збільшенню маси корисного навантаження та загальної надійності ракети-носія.

- розроблено універсальні дослідні конструкції (установки) та удосконалено підходи до проведення експериментів з ЛКЗ, які можуть бути використані конструкторськими та науковими підрозділами для подальших досліджень і відпрацювання піротехнічних систем розділення для нових матеріалів та конструкцій.

- результати роботи, включаючи методики, математичні моделі та напівемпіричні залежності, знайшли практичне використання у виробничому процесі ДП «КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля (м. Дніпро) при проєктуванні та розробці робочої конструкторської документації на систему розділення корпусного відсіку нової розробки та систему автоматичного припинення польоту, а також використовуються у навчальному процесі в аспірантурі підприємства (підтверджено актами впровадження).

6. Використання результатів роботи.

Результати проведених досліджень застосовуються у Державному підприємству «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля при проєктуванні та розробці систем розділення та системи аварійного припинення польоту, а також у навчальному процесі при проведенні лекційних та практичних занять (підтверджено актами впровадження).

7. Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі, висвітлено в 15 наукових

працях, зокрема в 1 статті у закордонному виданні, що індексується в наукометричних базах *Web of Science Core Collection*; *Scopus*; *EBSCOhost Academic Search Complete*; *EBSCOhost – One Belt, One Road Reference Source Product*; *ERIH PLUS* etc.; 3 статтях у фахових виданнях України, включених до наукометричних баз *Ulrich's Periodicals Directory*, *WorldCat*, *Index Copernicus*, *CrossRef*, *Vernadsky National Library of Ukrain*, *ResearchBible*, *Ouci*. Без співавторства виконано 3 статті. У матеріалах наукових конференцій і збірниках тез доповідей опубліковано 11 праць.

У роботі [2], опублікованій у співавторстві, здобувачеві належать – розробка концепції статті, визначення величини усадки матеріалу, зумовленої деформаціями та залишковими напруженнями після зварювання корпусного відсіку, формулювання висновків.

Статтю [1] присвячено експериментальному дослідженню визначення оптимальної фокусної відстані лінійного кумулятивного заряду. У роботі представлено нову експериментальну методику, що дозволяє дослідити залежність глибини проникнення кумулятивного струменя від фокусної відстані шляхом встановлення заряду під малим кутом відносно перешкоди, що значно зменшує кількість випробувань та підвищує точність визначення. Наведено результати експериментального дослідження з визначення оптимальної фокусної відстані для ЛКЗ діаметром 5 мм з напівциліндричною КВ на перешкоді з алюмінієвого сплаву марки 2219, отримано залежність глибини проникнення від фокусної відстані та визначено оптимальну фокусну відстань.

Статтю [2], що опубліковано у співавторстві, присвячено дослідженню термодеомаційних процесів (усадки) в металі при проведенні зварювальних робіт під час виготовлення корпусних відсіків. У роботі розглянуто питання зварювальних деформацій та внутрішніх напружень, що виникають у зварних швах і спричиняють зміну геометричної форми та розмірів зварних корпусних елементів конструкції. Проведено розрахунок величини усадки металу. Надано рекомендації щодо зменшення зварювальних деформацій та

компенсації усадки шляхом застосування конструктивних рішень і технологічних прийомів на етапах проєктування та виготовлення.

Статтю [3] присвячено експериментальному дослідженню працездатності піротехнічних пристроїв системи розділення ракет-носіїв. У роботі представлено методику та схему проведення експерименту з визначення глибини проникнення кумулятивного струменя лінійного кумулятивного заряду діаметром 5 мм з напівциліндричною КВ в перешкоду з алюмінієвого сплаву марки 2219 на фокусній відстані 5 мм. Наведено результати експериментального дослідження глибини проникнення кумулятивного струменя, визначено середню глибину проникнення та проведено оцінку впливу технологічних факторів на неї. Удосконалено розрахунок глибини проникнення кумулятивного струменя з урахуванням технологічних факторів.

В статті [4] висвітлено результати аналізу наявної наукової літератури щодо формування ефективної фокусної відстані піротехнічних пристроїв систем розділення ракет-носіїв. Проведено огляд досліджень різних авторів, проаналізовано вплив фокусної відстані на проникнення кумулятивного струменя в перешкоди. Визначено фактори, що впливають на фокусну відстань, включаючи форму КВ та режим кумуляції. Розглянуті рекомендовані діапазони фокусних відстаней для ряду матеріалів перешкод. На основі аналізу сформульовано постановчу задачу щодо визначення фокусної відстані встановлення ЛКЗ в корпусному відсіку ракети-носія.

Дисертаційну роботу виконано у відділі 215 Державного підприємства «Конструкторське Бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля».

Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на плагіат, експерти дійшли висновку, що дисертаційна робота Болюбаша Євгена Сергійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело. Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення. Особиста участь автора полягає в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній

роботі, в аналізі та пошуку літературних джерел інформації, розробці наукової гіпотези та методики наукових досліджень, оформленні та узагальненні роботи, участі у виконанні аналітичної частини, аналізі та обґрунтуванні отриманих результатів, формулюванні висновків і рекомендацій, підготовці отриманих матеріалів до публікацій та оприлюднення даних, щодо наукового дослідження відповідно до плану та теми дисертаційної роботи.

Апробація наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі здійснювались здобувачем особисто при методичній і науковій підтримці наукового керівника, к.т.н. головного наукового співробітника відділу 123 ДП «КБ «Південне» Логвиненко Анатолія Івановича.

Особистий внесок здобувача підтверджений представленими документами і науковими публікаціями.

8. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача у разі співавторства.

Статті, опубліковані в виданнях, проіндексованих у наукометричних базах даних Web of Science CoreCollection та/або Scopus

№ п/п	Прізвище, ім'я, по батькові автора	Назва публікації	Назва видання, де опубліковано публікацію	Рік, том, номер (випуск), перша-остання сторінки публікації	Цитування у наукометричній базі (назва НБ Scopus, Web of Science)	Web -сторінка публікації
1	Boliubash Y.	Experimental determination of the focal distance of the cumulative pyrotechnic device of the separation system of the launch vehicle	Tehnički glasnik (Technical Journal)	2025. Vol. 19, No. 1. P. 142-148.		https://doi.org/10.31803/tg-20240516182956

Статті, опубліковані в виданнях, які на дату їх опублікування внесені до переліку наукових фахових видань України

№ п/п	Прізвище, ім'я, по батькові автора	Назва публікації	Назва видання, де опубліковано публікацію	Рік, том, номер (випуск), перша- остання сторінки публікації	Веб-сторінка публікації
2	Болюбаш Е. С.	Термодеформационные процессы (усадка) в металле при проведении сварочных работ при изготовлении корпусных отсеков <i>Особистий внесок здобувача: концепція статті, визначення величини усадки матеріалу, що спричинена деформаціями і залишковими напруженнями після зварювання корпусного відсіку</i>	Вісник Дніпровського університету. Серія: ракетно-космічна техніка	2018. Вип. 21. С. 27-33	https://doi.org/10.15421/451806
3	Болюбаш Є.С.	Експериментальне дослідження працездатності піротехнічних пристроїв системи розділення ракет-носіїв	Космічна техніка. Ракетне озброєння. Space Technology. Missile Armaments	2024. Вип. № 1. С. 121-128	https://doi.org/10.33136/stma2024.01.121
4.	Болюбаш Є.С.	Формування ефективної фокусної відстані піротехнічних пристроїв систем розділення (відділення) ракети-носія	Вісник Дніпровського університету. Серія: ракетно-космічна техніка	2024, №4, Т.33, Вип. 28. С. 26-37	https://doi.org/10.15421/452421

Статтю [1] опубліковано в науковому періодичному виданні іншої держави (Хорватія).

9. Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаних джерел з 141 найменувань і 5 додатків. Загальний обсяг роботи становить 236 сторінок, 87 рисунків та 36 таблиць.

10. Оцінка мови і стилю дисертації.

Дисертаційна робота Болюбаша Євгена Сергійовича написана грамотною українською мовою, має змістовну цілісність, послідовність та завершеність. Стиль викладання матеріалу відповідає прийнятому в науковій літературі.

11. Ступінь наукової зрілості.

Під час виконання дисертаційної роботи за час навчання в аспірантурі Болюбаш Євген Сергійович проявив високий рівень наукової підготовки, вміння поставити задачу, обґрунтувати шляхи її вирішення та практичної реалізації. Болюбаш Євген Сергійович володіє сучасними методами експериментальних досліджень, характеризується високою працездатністю, ініціативністю та наполегливістю.

Вважати, що дисертаційна робота Болюбаша Євгена Сергійовича «УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ РОЗДІЛЕННЯ РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПІРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ», яку подано на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю 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 р. № 44, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Державного підприємства "Конструкторське бюро "Південне" ім. М.К. Янгеля" зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Рекомендувати:

Дисертаційну роботу «УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ РОЗДІЛЕННЯ
РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ
ПРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ», подану Болюбашем Євгеном Сергійовичем
на здобуття ступеня доктора філософії до захисту.

Генеральний конструктор –

Перший заступник

Генерального директора

ДП "КБ "Південне", к.т.н.

Максим ДЕГТЯРЬОВ

Голова секції НТР КБ-2

Євген ШЕВЦОВ

Учений секретар,

начальник науково-освітнього центру,

к.т.н.

Лариса ПОТАПОВИЧ