

ВИСНОВОК **наукового керівника**

щодо дисертаційної роботи Болюбаша Євгена Сергійовича на тему:
«Удосконалення системи розділення ракетно-космічних елементів за
допомогою піротехнічних пристроїв»,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
у галузі знань 13 – Механічна інженерія, за спеціальністю
134 – Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Дисертаційна робота Болюбаша Є.С. присвячена актуальній та важливій науково-практичній задачі – підвищенню ефективності піротехнічних систем розділення (СР) елементів ракетно-космічної техніки (РКТ). Піротехнічні пристрої використовуються в багатьох важливих системах. Використання лінійних кумулятивних зарядів (ЛКЗ) є перспективним напрямком, однак обґрунтований вибір їхніх проєктних параметрів (типорозміру та фокусної відстані) для гарантованого розділення сучасних конструкційних матеріалів, особливо багат шарових перешкод, залишається складним завданням, що потребує глибоких досліджень. Таким чином, тема дисертації є своєчасною та має значне наукове і практичне значення для авіаційної та ракетно-космічної галузі.

Болюбаш Є.С. ще до вступу в аспірантуру виявляв значний інтерес до питань, пов'язаних з проєктуванням та функціонуванням піротехнічних систем розділення у складі РКТ. Усвідомлюючи важливість надійного розділення для успішності космічних місій, він цілеспрямовано обрав тематику проникнення кумулятивного струменю лінійного кумулятивного заряду з напівциліндричною кумулятивною виїмкою в перешкоду в системах розділення ракетно-космічних елементів як об'єкт дисертаційного дослідження після вступу до аспірантури ДП «КБ «Південне».

Протягом навчання в аспірантурі Болюбаш Є.С. повністю виконав освітню та наукову частини індивідуального плану. Він успішно склав усі необхідні іспити та заліки, своєчасно завершив роботу над дисертацією. Упродовж виконання цієї роботи здобувач виявив себе як наполегливий, цілеспрямований та зрілий дослідник, здатний чітко визначати мету й завдання наукового пошуку, обирати адекватні методи дослідження, глибоко осмислювати, систематизувати та критично аналізувати отримані результати.

Сумлінно навчаючись та активно займаючись дослідницькою діяльністю, Болюбаш Є.С. засвоїв необхідні професійно-теоретичні знання, набув практичних вмінь і навичок, опанував відповідні компетенції, що дозволило йому продукувати нові наукові ідеї та комплексно вирішити поставлене завдання.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності піротехнічної системи розділення шляхом визначення раціонального типорозміру лінійного кумулятивного заряду та раціональної фокусної відстані. Для досягнення мети було поставлено та успішно вирішено низку завдань, пов'язаних з розробкою методик, проведенням експериментів та аналітичних розрахунків.

В результаті проведених досліджень автором були отримані результати, що мають наукову новизну, теоретичне і прикладне значення.

Наукова новизна полягає у наступному:

1. 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 кумулятивного струменя (КС) при змінній фокусній відстані в заданому інтервалі.

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

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

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Дістало подальшого розвитку уявлення про вплив фокусної відстані ЛКЗ та сукупності технологічних факторів (точність виготовлення, неоднорідність вибухової речовини тощо) на процес проникнення КС ЛКЗ з напівциліндричною КВ, що дозволило встановити особливості пошарового розділення визначеної перешкоди.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у тому, що:

1. Розроблено методики, алгоритм та математичні моделі, які дозволяють на етапах проектування обґрунтовано визначати раціональні параметри (фокусну відстань, типорозмір) ЛКЗ для систем розділення РКТ, скорочуючи терміни та вартість проектно-конструкторських робіт і експериментального

відпрацювання внаслідок підвищення точності розрахунків та зменшення обсягу необхідних натурних випробувань.

2. Отримано конкретні, експериментально підтверджені проєктні параметри (раціональна фокусна відстань $F_{\text{рац}} = 5,0$ 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).

3. 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.

4. 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.

5. 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).

В основу дисертації покладено матеріали, які узагальнюють дослідження, проведені автором під час виконання НДР відповідно до тематичних планів ДП «КБ «Південне», зокрема пов'язаних з розробкою піротехнічних систем розділення та систем аварійного припинення польоту, а також в рамках Загальнодержавної космічної програми України.

Як науковий керівник визначаю, що працюючи над дисертацією, Болюбаш Є.С. відповідально ставився до виконання наукової роботи, результати якої пройшли відповідну апробацію. Так, основні положення та висновки проведеного дослідження оприлюднювались на науково-технічній секції «КБ «Південне».

Дисертація є самостійною і завершеною науковою роботою. Всі поставлені завдання виконані повною мірою, результати досліджень також впроваджені. Здобувач опублікував за темою дисертації 15 наукових праць, зокрема 1 статтю у закордонному виданні (*Scopus*, Q3), 3 статті у фахових виданнях України. У матеріалах наукових конференцій і збірниках тез доповідей опубліковано 11 праць. На XIX міжнародній молодіжній науково-практичній конференції «Людина і космос» здобувача було нагороджено дипломом за найкращу доповідь.

Кількість, оформлення та зміст публікацій відповідають встановленим вимогам. Усі матеріали, які виносяться на захист, отримані здобувачем

особисто. Ідеї та елементи наукових праць інших авторів супроводжуються належними посиланнями.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що за своєю актуальністю, обсягом виконаних досліджень, науковою новизною, практичним значенням, вірогідності одержаних результатів та обґрунтованістю висновків дисертаційна робота Болюбаша Євгена Сергійовича на тему «Удосконалення системи розділення ракетно-космічних елементів за допомогою піротехнічних пристроїв» відповідає кваліфікаційним вимогам щодо дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, викладеним у «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44) та рекомендована до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

Науковий керівник: головний
науковий співробітник
відділу 123 ДП «КБ «Південне»,
кандидат технічних наук



Анатолій ЛОГВИНЕНКО

Підпис Анатолія ЛОГВИНЕНКА засвідчує

Учений секретар ДП «КБ «Південне»,
кандидата технічних наук



Лариса ПОТАПОВИЧ