

ВІДГУК

офіційного опонента
на дисертаційну роботу Бакуна Володимира Андрійовича
«Випробувальний вогневий стенд
висотних рідинних ракетних двигунів малої тяги»,
представлену на здобуття вченого ступеня доктора філософії
за спеціальністю 134 - Авіаційна та ракетно-космічна техніка

1. Актуальність і новизна теми

Одним з ефективних напрямів розвитку авіаційної та ракетно-космічної техніки є вдосконалення характеристик двигунів і підвищення ефективності всіх етапів їх створення, зокрема етапу випробувань. У зв'язку з цим дисертаційна робота, спрямована на підвищення ефективності стендових випробувань висотних рідинних ракетних двигунів (РРД), є **практично актуальною**.

Зазначена задача потребує проведення циклу наукових робіт із пошуку раціонального поєднання нових можливостей, які відкривають сучасні технології розрахункового аналізу й виготовлення характерних елементів, із задачами проектування висотних стендів, які забезпечують найкращу відповідність між умовами випробувань і реальними умовами експлуатації. Відомі публікації за цією темою присвячені головним чином процесам вимірювання параметрів і обробки результатів, опису характеристик двигунів, а не власне проектуванню самих стендів. Це визначає **наукову актуальність** цієї роботи.

Таким чином, тема дисертації має значну наукову й практичну актуальність, а об'єкт досліджень має новизну.

2. Значення для науки та практики

Найбільш значущим **науковим результатом**, який уперше отримано автором і який визначає відповідність дисертації вимогам до рівня кваліфікаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії, є створення математичної моделі спільної роботи РРД і газо-ежекторної установки, а на її основі – удосконаленого методу проектування висотних стендів для експериментального дослідження РРД малої тяги для останніх ступенів ракет.

Опрацьовано також особливості впровадження адитивних технологій для виготовлення елементів газоповітряного тракту та паливних систем стендів.

Досліджено процес генерації та наслідки дії вібраційних сигналів під час випробувань унаслідок взаємодії робочих процесів двигуна та випробувального стенду.

Дисертація має суттєве **значення для практики**:

В оглядовій частині роботи виконано детальний та докладний аналіз конструктивних рішень щодо проектування випробувальних стендів та забезпечення необхідних висотних умов під час випробувань, а також робіт з впровадження адитивних технологій в конструкцію елементів РРД і випробувальних стендів.

Розроблено практичні рекомендації щодо проектування висотних стендів з газо-ежекторними пристроями, які забезпечують імітацію вакууму. Ці рекомендації використано при проектуванні конкретного стенду, на якому випробувано РРД малої тяги.

3. Обґрунтованість і вірогідність результатів

Основні результати і висновки дисертації представляються достовірними, достатньо обґрунтованими та випробуваними.

Автор базує свої дослідження на детальному кваліфікованому аналізі проблеми та робіт інших дослідників, які виконано у напрямку її вирішення.

В основу методики дослідження покладено самостійне отримання експериментальних даних, досвід попередників, відокремлення значущих факторів, формування математичної структури моделі.

Математичне моделювання виконано на основі відомих випробуваних програмних засобів, які стали стандартними в сучасних дослідженнях.

Експерименти проведено із використанням атестованих вимірювальних засобів. Тому достовірність використаних експериментальних даних, отриманих результатів і розроблених моделей не викликає сумнівів.

Висновки, наведені автором в дисертації, повністю відповідають її змісту й отриманим результатам.

4. Повнота викладення дисертації в публікаціях

На протязі періоду роботи автора над дисертацією її результати починаючи з 2021 р. регулярно висвітлювались у статтях і матеріалах науково-технічних конференцій. Автор приводить список із 7 таких робіт, з них одна стаття у вітчизняному фаховому журналі категорії А, три статті у вітчизняних фахових журналах категорії Б, і три матеріали міжнародних конференцій. Аналіз цих робіт дозволяє вважати, що всі основні результати дисертації опубліковані та відомі широкому колу вчених.

5. Оформлення дисертації

Оформлення дисертації відповідає встановленим вимогам.

Зміст анотації достатньо повно відбиває зміст дисертації, її структуру та основні результати.

6. Зауваження

Зауваження до методики дослідження та результатів:

1). Останній пункт наукової новизни сформульовано не досить вдало. Він містить інформацію про три елементи випробувального стенду: 1 – діапазон тяги двигунів, для якого він спроектований; 2 – використання умов спільної роботи двигуна та газо-ежекторної установки; 3 – забезпечений рівень розрідження на зрізі сопла. Яка (або які) з цих ознак забезпечено вперше – з наведеного формулювання неясно.

2). Розділ 2.5 здається дуже важливим для всієї роботи, тому що він присвячений верифікації математичної моделі, на якій ґрунтується робота. Але, на жаль, необхідний аналіз і його опис виконано не дуже ретельно:

— Аналізуючи експериментальні дані, в кінці розділу 2 автор приходить до висновку щодо адекватності запропонованої моделі. Посилаючись на рис. 2.24, він стверджує, що при спільній роботі РРД і стендового обладнання експериментально отримано значення тиску 3,5 мм рт. ст., що досить гарно корелює зі значенням 2,2 мм рт. ст., визначеним під час моделювання. З такою відповідністю значень доцільно погодитись, але ж з рисунка не випливають наведені автором 3,5 мм рт. ст, тому що мінімальне з наведених значень складає 150 мм рт. ст., тобто є в 40 разів більшим.

— Автор пише, що отримані експериментальні дані «використано для уточнення моделі, а також оптимізації конструктивних параметрів двигуна». На жаль, в роботі немає інформації про те, як це зроблено.

3). У розділах, присвячених проектуванню газо-ежекторної установки та формуванню її математичної моделі, автор головну увагу приділяє роботі двигуна на усталеному робочому режимі. У той же час, надійність силової установки значною мірою визначається надійністю її запуску. Особливо це стосується висотних ступенів, які саме розглянуто в роботі. Достатньо зазначити, що на початку запуску двигун не працює, тому його газовий струмінь не приймає участі в утворенні розрідження на виході. Проблема динамічної взаємодії двигуна і газо-ежекторної установки (зокрема під час запуску) в роботі розглянута явно недостатньо.

Зауваження до подання дисертації та її оформлення:

4). У вступі серед методів, на яких ґрунтується робота, названо тільки критичний аналіз існуючих стендів і методи, які стосуються експериментальних досліджень. Це створює хибне уявлення про те, що ніяких розрахунків або моделювання в роботі немає. У той же час, усі положення наукової новизни стосуються саме моделювання, розрахунків і проектування, а не проведення експериментальних досліджень і обробки їх результатів.

5). Оглядовий розділ роботи виконується для того, щоб обґрунтувати необхідність вирішення саме задач даної роботи для досягнення сформульованої

техніка.

Таким чином, результати, викладені в дисертаційній роботі, відповідають вимогам пп. 6-9 "Порядку присудження ступеня доктора філософії...", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.22 р. №44, а її автор – **Бакун Володимир Андрійович** – заслуговує присвоєння вченого ступеня доктора філософії.

Завідувач кафедри
конструкції авіаційних двигунів
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»,
заслужений діяч науки і техніки України
докт. техн. наук, професор


10.06.2025

Сергій ЄПІФАНОВ



мети. Тому розділ 1 має завершитися формулюванням цих задач. Але цього немає. Завдання роботи сформульовано у вступі, без опори на результати аналізу проблеми.

6). У підрозділі 1.1 «Особливості атмосферних та вакуумних випробувань РРД» автор оглядає характерні елементи випробувань і стендів, але не робить жодного посилання, крім джерела [1], яке ілюструє загальний устрій двигуна.

7). Розділ 2 називається «Розробка математичної моделі вогневих випробувань РРД». Згідно зі словником, «Випробування – це експериментальне визначення, оцінювання або контроль характеристик об'єкта». Зміст розділу не відповідає цьому визначенню. У ньому розглянуто математичне моделювання газодинамічної взаємодії двигуна та стендового обладнання під час випробувань.

8). При описі CFD-моделі течії в розділі 2 автор не досить детально посилається на літературні джерела. Так, незрозуміло походження прийнятих значень коефіцієнтів використаної моделі турбулентності (стор. 69).

9). У розділі 2 при описі експериментального стенду та процесу його моделювання автор не описав, звідки взяли розміри проточної частини стенду: чи він його обґрунтовано спроектовано під параметри двигуна, який випробувався, чи було використано вже наявний стенд. У обох випадках виникає запитання щодо відповідності розмірів, яке в роботі не розкрито.

10). Текст роботи не позбавлений деяких граматичних помилок та неточностей. Так, наприклад, на стор. 4 одне речення повторюється двічі; на стор. 57 написано, що на рис. 2.2 представлено 3D-модель стенду, хоча це не 3D-модель, а двовимірна схема; на стор. 61 замість «густина газу» використано термін «щільність»; зміст рисунку 2.9 не відповідає назві «Методи чисельного розрахунку» - на ньому зображено меню налаштування програмного засобу; назва підрозд. 2.4 є некоректним словосполученням «Результати розрахунків математичного моделювання»; назва розділу 4 містить граматичну помилку, тощо.

7. Висновки

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи – вони скоріше є наслідком різноплановості дисертації, що є вибором автора.

У цілому, сформульовану на початку роботи мету досягнуто. У результаті виконаних наукових досліджень сформовано моделі та методи, які дозволили спроектувати стенд з унікальними параметрами й забезпечити ефективне виконання дуже важливих висотних випробувань двигуна. Дисертаційна робота виконана на достатньому науковому рівні та є значною працею, що містить нові науково обґрунтовані результати в галузі ракетно-космічної техніки, які є вирішенням важливого науково-практичного завдання забезпечення висотних випробувань силових установок з РРД для останніх ступенів ракет.

Дисертація відповідає спеціальності 134 – авіаційна та ракетно-космічна