

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Мітікова Юрія Олексійовича
«Методологічні основи розробки та модернізації систем наддування паливних баків ракетних рушійних установок»,
представлену на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

1. Актуальність і новизна теми

Одним з ефективних напрямів розвитку ракетної техніки є вдосконалення рушійних установок, зокрема систем наддування паливних баків ракет. У зв'язку з цим дисертаційна робота, спрямована на пошук нових структурних рішень та створення методичних основ модернізації систем, що існують, та проектування нових систем наддування, є **практично актуальною**.

Поряд з конструктивними рішеннями, спрямованими на удосконалення окремих елементів систем наддування та впровадження нових підходів у цій галузі, перспективним засобом удосконалення модернізації та проектування є створення математичних моделей систем та їх використання на усіх етапах життєвого циклу, зокрема для обґрунтування та супроводження натурних випробувань, які традиційно посідають особливе місце у створенні ракетно-космічної техніки. Відомі закордонні публікації за цією темою мають рекламний характер і лише підтверджують ефективність даного напрямку, але не розкривають не тільки конкретні рішення, а навіть методичні підходи до їх отримання.

В Україні ця проблема вирішувалася на інженерно-технічному рівні при створенні видатних зразків ракетно-космічної техніки, проте на рівні, достатньому для формування теоретичних основ і моделей відповідних процесів, досі не розглянута. Це визначає **наукову актуальність** цієї роботи.

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

Актуальність роботи також підтверджується тим, що вона виконана в рамках держбюджетних НДР, а також програм КБ «Південне» зі створення сучасних ракет-носіїв.

2. Значення для науки і практики

Найбільш значущим **науковим результатом**, який вперше отримано автором і який визначає відповідність дисертації вимогам до докторського рівня, є **створення теоретичних основ розробки високоефективних систем наддування баків рушійних установок нового покоління і модернізації існуючих рушійних установок**.

Автором обґрунтовано необхідність та виявлено шляхи удосконалення систем наддування, у яких в якості робочого тіла використовується гелій, а також запропоновано і досліджено ряд нових ефективних систем із використанням альтернативних робочих тіл.

Для отримання зазначеного основного наукового результату автором вперше розроблено комплекс математичних моделей, що описують робочі процеси в системах наддування, які відрізняються динамічним характером,

високою складністю та різноманіттям. Ці моделі є досить простими, проте ураховують тепломасообмін, фазові переходи, ламінарні та вихрові течії.

Використання цих моделей дозволило дослідити окремі ключові елементи систем на етапах конструювання, спланувати експериментальні випробування і на основі аналізу їх результатів отримати нові наукові результати:

- встановлено негативний вплив тривалості передпускової підготовки рушійної установки на параметри системи наддування, розроблено рекомендації щодо покращення параметрів передпускового наддування баків;

- запропоновано методичні заходи щодо визначення інтенсивності випаровування кисню в нетеплоізованому циліндричному баку за часом польоту;

- доведено, що у баках великого подовження температура наддувного гелію не впливає істотно на температуру верхнього шару рідини у баку;

- встановлено межі далекобійності струменя газу наддування;

- запропоновано використовувати багаторівневі газовводи;

- проаналізовано роботу газобалонної системи наддування;

- досліджено вплив на параметри системи наддування умов введення неізотермічного робочого тіла;

- для високотемпературних систем наддування запропонований і експериментально досліджений новий вискоефективний спосіб введення газу в паливні баки у вигляді турбулентних вихрових кілець (ТВК);

- обґрунтовано методичні підходи до прискореного фізичного моделювання параметрів системи наддування за умов рівності тисків газу в натурних і модельних баках, а також температур робочого тіла;

- проведено аналіз проблемних питань впровадження автономних робочих тіл наддування для паливних баків;

- вирішено проблеми, що перешкождали впровадженню найпростішої системи наддування бака з киснем – системи самонаддування; для цього розроблено способи визначення рівня кисню в баку при кипінні його верхнього шару;

- суттєво удосконалено парові системи наддування баків з киснем для сучасних двигунів, що працюють за схемою допалювання окисного генераторного газу;

- запропонована та досліджена низка альтернативних методів наддування.

Дисертація має суттєве значення для практики:

Запропоновані методичні основи розробки вискоефективних систем наддування баків рушійних установок нового покоління і модернізації існуючих рушійних установок використано в КБ «Південне» під час проектування та випробувань рідинно-реактивних двигунів РД-181 (ракета-носіїв Antares), РД-815 (ракета-носіїв «Маяк»), I та II ступенів ракети-носія «Зеніт» та I ступеня ракети-носія «Енергія». Автор безпосередньо приймав участь у цих роботах.

В подальшому результати дисертаційної роботи будуть методичною основою створення нових та модернізації систем наддування баків існуючих рушійних установок.

Вони безумовно мають бути використані у навчальному процесі, тому що розширюють знання у галузі рушійних установок і становлять значну

пізнавальну цінність, тому що у сукупності дають цілісну картину розвитку систем наддування рушійних установок із рідинно-реактивними двигунами.

3. Обґрунтованість і вірогідність результатів

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

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

В основу методики формування усіх моделей покладено аналіз процесу, що моделюється, досвід попередників, відокремлення значущих факторів, формування математичної структури моделі, пошук або самостійне отримання експериментальних даних і верифікація моделі на їх основі.

Безумовною позитивною рисою роботи є широке використання унікальних експериментальних даних, які отримані під час стендових та льотних випробувань рушійних установок та їх систем на ДП КБ «Південне». Тому достовірність експериментальних даних не викликає сумнівів.

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

4. Повнота викладення дисертації в публікаціях

Перші публікації з результатами дисертації (авторські свідоцтва) з'явилися у 1981 році, а з 2011 р. вони регулярно висвітлювались у статтях і матеріалах науково-технічних конференцій. В авторефераті автор приводить список з 35 таких робіт, що опубліковані у фахових виданнях, які входять у затверджений МОН України перелік, а також 30 авторських свідоцтв та патентів і 5 публікацій в матеріалах міжнародних конференцій. Із зазначених робіт 9 статей та 12 патентів опубліковано без співавторів. Матеріали дисертації включено в доповіді, зроблені автором на 5 міжнародних наукових конференціях. Аналіз цих робіт дозволяє вважати, що усі основні результати дисертації опубліковані та відомі широкому колу вчених.

5. Оформлення дисертації і автореферату

Оформлення дисертації і автореферату відповідає встановленим вимогам.

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

6. Зауваження

Зауваження до методики дослідження та моделей:

1). Розділ 2 дисертації присвячено математичному моделюванню гелієвих систем наддування баків окиснювача. Здається, викладена у підрозділі 2.1 модель має бути повною і служити основою для досліджень, яким присвячено наступні розділи. Але ж це сподівання не зовсім виправдовується, внаслідок чого виникає низка наступних зауважень.

2). За умов осьового введення надувного газу процес у баку (зокрема у його газовому об'ємі) є у найпростішому випадку двовимірним вісесиметричним. Математичні основи для моделювання таких процесів добре відомі. Обчислювальна техніка із необхідною потужністю є у наявності. Тому використання одновимірних моделей на початковому етапі може бути

виправдане відсутністю багатьох конструктивних параметрів та граничних умов, а на подальших стадіях використання двовимірних моделей є необхідним і сприятиме скороченню натурних випробувань. На жаль, двовимірні моделі в роботі не розглянуто.

3). У розділі 2.1 немає систематичного викладення зроблених припущень. Тому при читанні розділу 2.3, присвяченого аналізу припущень, дуже важко зрозуміти, чи усі зроблені припущення проаналізовано.

4). У першому розділі підкреслено складність процесів у баках під час польоту, зокрема суттєвий вплив на тиск, температуру та склад газового простору процесів кипіння окиснювача у пристінному шарі, руху та конденсації парових бульбашок у переохолодженій рідині. Викладена у розділі 2 математична модель цього не враховує.

5). На стор. 89 автор підкреслює необхідність розглядати гелій як реальний газ в умовах тиску та температури, які відповідають умовам його зберігання у балонах. Тому ентальпія гелію має залежати від температури і тиску. Проте ця залежність знехтувана при виведення формули (2.1), коли зроблено припущення про незмінність показника адіабати.

6). Рівняння (2.3) для зміни тиску у паливному баку отримано за припущенням про те, що змішувані гази є ідеальними.

7). Для розв'язання рівняння (2.3), що описує зміну тиску в газовому просторі бака, необхідно задати три вхідні змінні: надходження гелію $\dot{m}_g$ та парів кисню $\dot{m}_s$ та сумарний тепловий потік $\dot{Q}_\Sigma$ від газу в граничні поверхні. У додаток до зазначеного рівняння, автор розглянув тільки рівняння теплового балансу, яке дає змогу визначити зазначений тепловий потік. Визначення надходження гелію та кисню потребує доповнення зазначених вище рівнянь рівняннями системи подавання гелію та масообміну рідкого кисню з газовою порожниною. На жаль, ці рівняння не розглянуто, і система рівнянь, яка відповідає математичній моделі, виявляється незамкненою.

8). Наприкінці підрозділу 2.3.1 автор пише про порівняння результатів моделювання із експериментальними даними, проте ані самих результатів, ані відомостей про модельовані умови не наведено. Це ускладнює оцінку вірогідності цього порівняння.

Зауваження до подання дисертації та її оформлення:

9). Робота написана у добротному стилі, який раціонально поєднує теоретичний та інженерний аспекти. На жаль, у тесті зустрічається досить багато помилок мовного характеру, що ускладнює сприймання. Наприклад, замість «об'єм бака» вживається «обсяг баку», замість «зведений параметр» - «наведений параметр», а в іншому місці - «приведений параметр», замість «випробуваний» - «апробований», замість «окиснювач» - «окислювач» та «окислитель» та ін.

10). На стор. 92 при описі формули Сен-Венана (2.2) - некоректне посилання на авторське свідоцтво дисертанта [47].

11). На стор. 101, 102 - некоректні посилання на літературні джерела.

12). Формула та її опис на стор. 169 повністю повторює формулу та її опис, що містяться на стор. 95.

13). На стор. 164 міститься посилання на рис. 3.6, опис якого не збігається

зі змістом зазначеного рисунка.

14). На стор. 226 не наведено номер літературного джерела у посиланні.

15). Рис. 3.5 містить дуже цінну інформацію щодо верифікації запропонованої моделі, проте посилань на нього у тексті немає.

7. Висновки

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи – вони скоріше є наслідком складності процесів, які розглянуто автором, та проявом його особистості – бажанням отримати науковий результат у вигляді, який був би корисним для безпосереднього інженерного використання.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні та є значною працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати у галузі енергетичних установок, які є вирішенням важливої науково-практичної проблеми модернізації існуючих та проектування нових систем наддування баків рушійних установок ракет-носіїв.

Дисертація відповідає спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Таким чином, дисертація задовольняє вимоги п. 10 «Порядку присудження вчених степенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», які пред'являються до докторських дисертацій, а її автор – **Мітіков Юрій Олексійович** – заслуговує присвоєння вченого ступеня доктора технічних наук.

Завідувач кафедри
конструкції авіаційних двигунів
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,
Заслужений діяч науки і техніки України
докт. техн. наук, професор

 С.В. Єпіфанов

Підпис Єпіфанова Сергія Валерійовича **ЗАВІРЯЮ.**
Учений секретар ради університету

« 4 » 05 2020 р.



 С.Є. Чмихун