

УДК 621.4

Дослідження газодинамічних процесів в перспективних ракетних двигунах

Дреус¹ А.Ю.; Дубовик¹ Л.Г.; Ємець¹ В.В.

1-Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

***Анотація** В Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара історично сформувалися потужні наукові школи з аерокосмічних технологій і гідрогазодинаміки. В роботі представлено результати досліджень процесів внутрішньої газової динаміки в оригінальних ракетних двигунних установках, що були розроблені в ході виконання проєктів за участю фахівців Дніпровському національного університету імені Олеся Гончара. Два типи ракетних двигунів розглянуто. Ракетний двигун, що використовує унітарне гелеподібне паливо. Такий двигун поєднує переваги рідкого і твердого ракетних палив, та дозволяє забезпечити багаторазовий запуск двигуна. Також представлено результати дослідження газодинамічних процесів при роботі твердопаливний ракетного двигуна для нових спалимих полімерних ракет. Дослідження виконувались як експериментально, так і на основі математичного моделювання.*

Ключові слова: ракетні двигуни; математичні моделі, внутрішня газова динаміка

Вступ.

Останнім часом на ринку космічних технологій з'являється велика кількість стартапів, що з одного боку, обумовлено потребами ринку, який стрімко розвивається та потребує нових технічних рішень, а з іншого боку відбиває жорстку конкуренцію в цій галузі. Поява в галузі великої кількості приватних компаній дозволило залучити значні фінансові ресурси і стимулювало інженерів до пошуку нових оригінальних конструкцій і технологій. Не виключенням в цьому аспекті є Україна, в якій до початку військової агресії росії сформувалися чіткі тренди на зростання частки приватного венчурного капіталу в аерокосмічному секторі економіки. Проте розвиток аерокосмічних технологій потребує проведення ґрунтовних наукових досліджень. Наукова школа з аерогідромеханіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара багато в чому формувалась під впливом практичних задач, які ставилися в аерокосмічній галузі Дніпровського регіону. Представники наукової школи з аерогідромеханіки ДНУ взяли участь в наукових проєктах, що пов'язані з розробкою нових оригінальних і перспективних ракетних двигунів. Результати досліджень деяких представлено в даній роботі.

Газодинаміка двигуна на унітарному гелеподібному паливі. Пріоритет в розробці такого двигуна належить вітчизняному ДП «КБ «Південне» ім. М.К.Янгеля», де цими розробками займаються з 70-х років ХХ сторіччя [1]. Концепт двигуна на гелеподібному паливі (рис.1) був розроблений в рамках проєкту Українського науково-технологічного центру (проєкт №4049) спільно з фахівцями Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Павлоградського хімічного заводу, ТОВ «Лабораторія перспективних ракетних двигунів» та ін. [2, 3]. Інтерес до такого типу двигунів зберігається серед конструкторів ракетно-космічної техніки [4, 5] у зв'язку з низкою переваг, що мають гелеподібні палива, зокрема можливістю організації багаторазового включення.

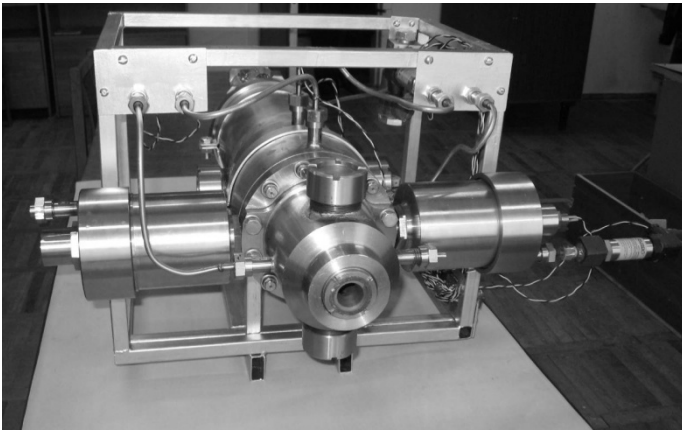


Рис. 1. Загальна схема РДГП

неузгодженістю швидкості горіння палива і швидкості його подачі. Внаслідок цього може виникати неповне згорання палива, або що призведе до заблокування філ’єрного блоку і аварійного припинення роботи. З іншого боку, на перехідних режимах (глибоке дроселювання або проміжне зупинення РД при багаторазовому запуску) фронт полум’я може проникнути у паливний бак, що також призведе до аварійної ситуації.

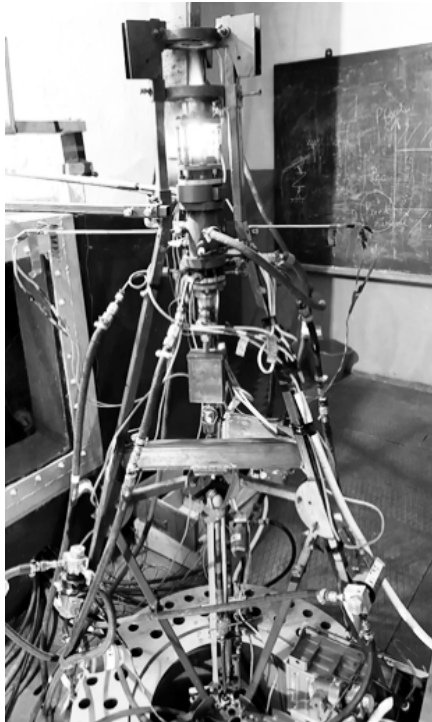


Рис. 2. Загальний вигляд ДУ для спалимої ракети на випробувальному стенді

університеті імені Олесь Гончара. Випробування двигуна на полімерному паливі були виконані в спеціалізованій лабораторії університету. На рис.2 представлений експериментальний стенд разом зі зразком двигуна. Результати експериментальних досліджень підтвердили працездатність двигунної установки.

Разом з тим, визначення конструкційних параметрів і ефективних режимів роботи двигуна потребує проведення відповідних газодинамічних процесів. Особливість роботи

Процеси газової динаміки та теплообміну в камері згорання двигуна на унітарному гелі подібному паливі грають ключову роль для ефективної його роботи. Важливою особливістю такого двигуна є відсутність системи примусового охолодження, що значно ускладнює тепловий стан конструкції. Основним методом забезпечення заданого теплового режиму захисту є застосування пасивного теплового захисту, що ґрунтується на використанні високоефективних термостійких композиційних матеріалів. При експлуатації двигуна можуть виникати проблеми, що пов’язані з

В результаті досліджень було розроблено математичну модель процесів газової динаміки в камері згорання двигуна на гелеподібному паливі, що являє собою систему диференціальних рівнянь збереження енергії та маси, проведені числові дослідження та отримані поля температури і тиску в камері. Результати числових досліджень верифіковано експериментальними даними.

Газодинаміка твердопаливного двигуна спалимих ракет. Оригінальна ідея спалимих ракет була запропонована проф. В. В. Ємцем [6]. Корпус спалимою ракети виготовляється з полімерних матеріалів і одночасно є паливним стрижнем. Реалізація ідеї такої ракети потребує спеціального ракетного двигуна [7]. Експериментальний зразок двигуна був розроблений у Дніпровському національному

двигунної установки полягає в необхідності попередньої газифікації полімерного палива до початку його спалювання в камері згоряння. Отже, конструкція двигуна потребує наявності спеціальної газифікаційної камери, в якій паливо і окислювач переходять в газоподібний стан. В газоподібному стані паливо і окислювач потрапляють до камери згоряння, де відбувалося горіння.

Моделювання процесів газової динаміки в середині двигуна відбувалося на основі пакета прикладних програм ANSYS Fluent. Були змодельовані процеси горіння і газової динаміки в камері згоряння, отримані поля швидкостей, температури, теплових потоків і тиску, визначено раціональні режими роботи за заданих параметрів камери. Показано, що застосування полімерного палива, зокрема поліетилену, дозволяє реалізувати низку переваг: низьку вартість та високу енергетичну енергоефективність.

Висновки. Розроблені математичні моделі процесів внутрішньої газової динаміки в нових оригінальних ракетних двигунних установках дозволяють визначити теплові і динамічні режими, та створюють підґрунтя для подальшої оптимізації таких систем.

Список літератури

1. Ivanchenko A.M. Deep regulation and reusable rocket propulsion using premixed slurry propellant / A.M. Ivanchenko, S.G. Bondarenko, Y.V. Protsan, S.A. Wilson // J. Propul Power. – 2012. – № 28(5), P. 869-75
2. Елисеєв, В.И. Экспериментальное и численное исследование реологических характеристик пастообразных топливных композиций / В. И. Елисеєв, С. Г. Бондаренко, А. Ф. Курочкин, Т. А. Майорская, Е. Б. Устименко, А. Б // Вісник двигунобудування. 2012. №1, С. 26-30..
3. Bondarenko S. The investigation of thermal and gas dynamic processes in the combustion chamber of the rocket engine using slurry fuel / . Bondarenko S, Dreus A, Lysenko K. // Proc Inst Mech Eng Part G J Aerosp Eng. – 2018 – 232(10), P. 1903-10
4. Padwal, M. B. Gel propellants / M.B. Padwal., B. Natan, D.P. Mishra // Progress in Energy and Combustion Science, – 2021, – P. 209-227.
5. Meier, J. Improved Hybrid Rocket Performance by Additively Manufactured Gel-Infused Solid Fuels / J. Meier, J. Reynolds, J. Whalen, S. Patel, et al. // Journal of Propulsion and Power, – 2022. – №39. P.1-9.
6. Yemets V. Single-stage small satellite launcher with combustible tank of polyethylene / V. Yemets, F. Sanin, Y. Dzhur, M. Masliany, O. Kostriksyn, G. Minteev// Acta Astronaut – 2009. - №64(1):28-32.
7. Yemets V, Dron M, Pashkov A. Autophage engines: Method to preset gravity load of solid rockets / V. Yemets, M. Dron, A. Pashkov // Spacecr Rockets – 2020. –№57(2):309-18.

The study of gas-dynamic processes in advanced propulsion systems

Dreus¹ A.Yu.; Dubovik¹ L.H.; Yemets¹ V.V.

1-Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Abstract. Oles Honchar Dnipro National University has historically developed powerful scientific schools in aerospace technology and fluid dynamics. The results of studies of internal gas dynamics processes in original rocket propulsion systems, which developed in Oles Honchar Dnipro National University, are presented herein. Two kind of rocket engines are considered. A propulsion system using unitary gel fuel. This engine combines the advantages of liquid and solid rocket propellants and allows for multiple engine launches. The results of the study of gas-dynamic processes during the operation of a solid rocket engine for new combustible polymer rockets are also presented. The research was carried out both experimentally and on the basis of mathematical modeling.

Keywords: rocket engines; mathematical models, internal gas dynamics.