УДК 621.45.026
DOI:10.62717/3083-7057-2026-1-079

Мудров Д.С.,
ДП "Конструкторське бюро "Південне" імені М.К. Янгеля"
ORCID 0009-0000-5106-3763
E-mail: Mudrov.D.S@nmu.one

Аксьонов О.С.,
ДП "Конструкторське бюро "Південне" імені М.К. Янгеля"
ORCID: 0000-0002-5399-7292
E-mail: aksyonov.olexander@gmail.com

ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВИТИСКНОЇ СИСТЕМИ ПОДАВАННЯ ПАЛИВА В ІМПУЛЬСНО-ДЕТОНАЦІЙНИХ ДВИГУНАХ

Анотація. Розглянуто доцільність застосування витискної системи подавання палива в імпульсно-детонаційних двигунах. Показано, що конструктивна простота, висока надійність, мала динамічна інерційність та стійкість до ударно-хвильових навантажень забезпечують стабільність складу паливної суміші й ефективну синхронізацію процесів заповнення детонаційної камери. Зазначені переваги роблять витискну систему подавання перспективним рішенням для малих і експериментальних імпульсно-детонаційних двигунів.
Ключові слова: авіаційна та ракетно-космічна техніка; імпульсний детонаційний двигун; витискна система подавання палива.

D. Mudrov,
Yuzhnoye State Design Office
ORCID 0009-0000-5106-3763
E-mail: Mudrov.D.S@nmu.one

O. Aksonov ,
Yuzhnoye State Design Office
ORCID 0000-0002-5399-7292
E-mail: aksyonov.olexander@gmail.com

JUSTIFICATION FOR THE USE OF A PRESSURE-FED PROPELLANT SUPPLY SYSTEM IN PULSE DETONATION ENGINES

Annotation. The feasibility of employing a pressure-fed fuel supply system in pulse detonation engines is examined. It is demonstrated that structural simplicity, high reliability, low dynamic inertia, and resistance to shock-wave loads ensure stable fuel mixture composition and effective synchronization of the detonation chamber

filling process. These advantages make the pressure-fed supply system a promising solution for small-scale and experimental pulse detonation engines.
Keywords: aerospace and rocket-space engineering; pulse detonation engine; pressure-fed fuel supply system.

Імпульсні детонаційні двигуни (ІДД) – це перспективний тип реактивних рушійних установок, у яких перетворення хімічної енергії палива здійснюється за рахунок детонаційного горіння. На відміну від дефлаграційного процесу горіння, детонація являє собою самопідтримувану ударно-хвильову структуру, що поширюється зі надзвуковою швидкістю і супроводжується різким збільшенням тиску та температури в зоні реакції. Така форма горіння забезпечує вищу термодинамічну ефективність робочого циклу порівняно з циклом Брайтона, за яким працюють традиційні ракетні двигуни, що зумовлює стійкий науковий інтерес до детонаційних двигун них установок [1].

Робота імпульсного детонаційного двигуна має виражений циклічний характер. В цих умовах система подавання компонентів палива стає одним із ключових елементів конструкції ІДД. Одним із можливих рішень є застосування витискної системи подавання, у якій подавання компонентів здійснюється за рахунок тиску газу наддування, що створює перепад тиску між баками та камерою згоряння. Такий принцип широко використовується в ракетній техніці, відрізняється конструктивною простотою, меншою кількістю механічних елементів та високою експлуатаційною надійністю порівняно з насосними системами подавання палива [2].

Однією з важливих переваг витискної системи є її стабільність при імпульсному режимі роботи детонаційного двигуна. На відміну від турбонасосних систем, що містять обертові агрегати з помітною інерційністю, витискна схема практично не має механічно рухомих елементів. Це забезпечує низьку динамічну інерційність системи подавання та дозволяє швидко змінювати витрату компонентів палива відповідно до фаз робочого циклу двигуна [2].

Особливе значення має вплив тиску подавання на частоту повторення детонаційних циклів. Частота роботи ІДД визначається, зокрема, часом заповнення камери паливно-окиснювальною сумішшю. Підвищення тиску подавання компонентів дозволяє скоротити час заповнення камери та, відповідно, збільшити частоту повторення циклів. Експериментальні дослідження ІДД показують, що параметри подавання палива безпосередньо впливають на динаміку формування детонаційного заряду та стійкість циклічного режиму роботи [3].

Витискна система подавання сприяє забезпеченню стабільності складу паливної суміші. Підтримання постійного тиску в баках дозволяє забезпечити більш стабільні масові витрати компонентів палива та окиснювача, що зменшує коливання коефіцієнта надлишку окиснювача у формованій суміші. Для детонаційних процесів стабільність складу суміші має особливе значення,

оскільки відхилення від оптимального складу можуть призводити до погіршення умов ініціювання та поширення детонаційної хвилі [1].

Додатковим чинником, що обґрунтовує застосування витискної системи подавання, є специфіка газодинамічних процесів у детонаційній камері. Проходження детонаційної хвилі супроводжується значними стрибками тиску та інтенсивними ударно-хвильовими навантаженнями. Такі динамічні впливи можуть негативно впливати на роботу турбонасосних агрегатів, викликаючи дестабілізацію потоку та підвищені механічні навантаження на елементи конструкції. Відсутність насосних агрегатів у витискній системі підвищує її стійкість до таких впливів і спрощує інтеграцію системи подавання з детонаційною камерою двигуна [3].

Важливим аспектом є взаємодія системи подавання з клапанною системою двигуна. В ІДД подавання компонентів палива часто здійснюється через швидкодіючі клапани, робота яких має бути синхронізована з фазами робочого циклу. Використання витискної системи подавання дозволяє забезпечити практично постійний перепад тиску на клапанах, що сприяє більш стабільній роботі клапанних пристроїв і спрощує синхронізацію процесів заповнення камери [2].

Конструктивна простота витискної системи подавання також сприяє підвищенню загальної надійності рушійної установки. Зменшення кількості механічних компонентів знижує число елементів, потенційно здатних спричинити відмову системи. Для експериментальних та малогабаритних рушійних установок цей фактор має особливе значення, оскільки дозволяє суттєво спростити конструкцію силової установки та знизити вимоги до її технічного обслуговування [2].

Слід зазначити, що витискна система подавання має й певні обмеження. Для забезпечення подавання компонентів палива тиск у баках має перевищувати тиск у камері згоряння та компенсувати гідравлічні втрати у трубопроводах. Це вимагає використання баків підвищеної міцності та системи газового наддування, що призводить до збільшення маси силової установки. Тому застосування витискних систем подавання зазвичай обмежується двигунами для ракет малого та середнього класу, тоді як у двигунах великої потужності частіше використовуються турбонасосні системи подавання [2].

Бібліографічні посилання

1. Золотько О. Є., Золотько О. В., Сосновська О. В., Аксенов О. С., Савченко І. С. Особливості конструктивних схем двигунів з імпульсними детонаційними камерами // Авіаційно-космічна техніка і технологія. 2020. № 2(162). С. 4–10. DOI: 10.32620/aktt.2020.2.01.
2. Sutton G. P., Biblarz O. *Rocket Propulsion Elements*. 8th ed. Hoboken: Wiley, 2010.

3. Roy G. D., Frolov S. M., Borisov A. A., Netzer D. W. Pulse detonation propulsion: challenges, current status, and future perspective // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2004. Vol. 30. P. 545–672. DOI: 10.1016/j.pecs.2004.05.001.