УДК 533.6.013.14 : 629.1.025.3 https://doi.org/10.15407/itm2024.03.031

К. В. ТЕРНОВА, Н. П. СИРОТКІНА, Л. В. МУЗИКА

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КРИТИЧНОГО ПЕРЕТИНУ КОНТУРУ НА ТЕЧІЮ У НАДЗВУКОВОМУ КРУГЛОМУ СОПЛІ

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Ляшко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: ternovayakaterina@gmail.com

У роботі було проаналізовано вплив кутової точки контуру сопла ракетного двигуна на характеристики внутрішнього потоку. Розглянуто двофазний потік у соплах різних контурів третьої ступені ракети. Визначено місце осадження конденсованої фази на стінку сопла з гострим кутом у критичній області. При заокругленні контуру сопла в кутовій точці на вході в надзвукову частину сопла відбувалась зміна траєкторії частинок, причому для меншого осадження виявлено кращий радіус заокруглення. Порівняння показало, що, не зважаючи на різні профілі, питомий імпульс цих сопел мало відрізняється між собою і виявляється нижче питомого імпульсу базового сопла на (6,5 – 7) %.

Проведено дослідження течії газу в соплах з кутовою точкою при сполученні укороченого конічного сопла з дзвіноподібним насадком. Було розраховано характеристики потоку для трьох конфігурацій контуру сопла в області зламу контуру: в кутовій точці без заокруглення контуру сопла, в кутовій точці і в точці сполучення конічної частини сопла зі дзвоноподібним насадком із заокругленням. Заокруглення контуру сопла в кутовій точці переходу від базового контуру к насадку дещо збільшує імпульс, хоча загалом не має суттєвого значення для волнової структури газового потоку в надзвуковому соплі без частинок.

При роботі сопла в земних умовах тиск на стінці конічної надзвукової ділянки сопла перед кутовою точкою (заокругленням) різко знижується до приблизно однакового мінімального значення для різних насадків. При цьому відстань мінімуму тиску від критичного перерізу сопла зменшується зі збільшенням радіуса заокруглення контуру сопла в кутовій точці. Таким чином, «розтягується» зона пониженого тиску (в порівнянні з незбуреним тиском на конічній ділянці сопла) на стінці практично пропорційно радіусу заокруглення контуру сопла в кутовій точці. Після досягнення мінімального значення тиск плавно підвищується до значення у відривній зоні на приблизно однаковій відстані від критичного перерізу сопла (в області кутової точки входу в насадок).

У висотних умовах залежність тиску від радіуса заокруглення контуру сопла в кутовій точці не має вираженого мінімального значення (з подальшим зростанням до тиску у відривній зоні насадка). При заокругленні тиск падає, як і в попередньому випадку (з приблизно таким же градієнтом), залишаючись після цього постійним і рівним значенню, отриманому у хвилях розширення при розвороті потоку у області зрізу (~ 20 мм від критичного перерізу сопла) конічної укороченої частини сопла.

Ключові слова*: укорочене сопло, дзвоноподібний насадок, імпульсні характеристики, кутова точка, заокруглення контуру сопла в кутовій точці.*

1. *Arora R., Vaidyanathan A.* Experimental investigation of flow through planar double divergent nozzles. Acta Astronomica. 2015. № 112. P. 200–216. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.03.020
2. *Genin C., Stark R., Haidn O., Quering K., Frey M.* Experimental and numerical study of dual bell nozzle flow. Progr. Flight Phys. 2013. № 5. P. 363–376. https://doi.org/10.1051/eucass/201305363
3. *Emelyanov V. N., Volkov K. N., Yakovchuk M. S.* Unsteady Flow in a Dual-Bell Nozzle with Displacement of an Extendible Section from the Initial to Working Position. Fluid Dynamics. 2022. P. 35–45. https://doi.org/10.1134/S0015462822601267
4. *Hamitouche T., Sellam M., Kbab H., Bergheul S.* Design and Wall Fluid Parameters Evaluation of the Dual-Bell Nozzle. International Journal of Engineering Research and Technology. 2019. V. 12, № 7. P. 1064–1074.
5. *Коваленко Н. Д., Стрельников Г. А., Гора Ю. В., Гребенюк Л. З.* Газодинамика сверхзвуковых укороченных сопел. К.: Наукова думка, 1993. 223 с.
6. *Стрельников Г. А.* Регулируемые сверхзвуковые сопла малой длины. Д: ДГУ, 1993. 191 с.
7. *Прядко Н. С., Стрельников Г. О., Тернова К. В.* Вплив кута входу до дзвоноподібного насадку укороченого круглого надзвукового сопла ракетного двигуна на його імпульсні характеристики. Космічна наука і технологія. 2024. Т. 30, № 3. С. 53–60. https://doi.org/10.15407/knit2024.03.053
8. *Pryadko N. S., Strelnikov G. A., Ternova K. V.* Research of supersonic flow in shortened nozzles of rocket engines with a bell-shaped tip. Space Sci. & Technol. 2024. № 1. P. 03–13. https://doi.org/10.15407/knit2024.01
9. *Хендерсон С. В.* Коэффициенты сопротивления сферы в течениях разреженного газа и сплошной среды. Ракетная техника и космонавтика. 1976. Т. 14, № 6. С. 5–7. https://doi.org/10.2514/3.61409
10. *Стернин Л. Е.* Основы газодинамики двухфазных течений в соплах. М.: Машиностроение, 1974. 212 с.
11. *Клигель Дж., Никерсон Г.* Течение смеси газа и твердых частиц в осесимметричном сопле. Детонация и двухфазное течение. М.: Мир, 1966. С. 183–201.
12. *John E. Matsson*. An Introduction to ANSYS Fluent 2022. 688 с.

Отримано. 23.08.2024,
в остаточному варіанті 10.12.2024