

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО СОПЛА ЛАВАЛЯ

Михайлюк В.В.¹, Лях М.М.¹, Процюк В.Р.¹,
Дейнега Р.О.¹, Витриховський Є.А.², Стецюк Р.Б.¹

¹ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ

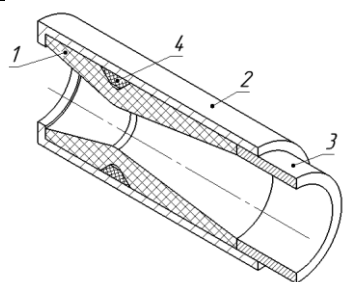
²Національний авіаційний університет, м. Київ

Під час різноманітних технологічних процесів у різних галузях промисловості необхідно охолоджувати газ. Для цього зазвичай використовують теплообмінники, від яких необхідно відводити тепло. Відомо, що під час руху газу крізь сопло Лавалю його температура і тиск зменшуються, а швидкість – зростає. Проте, газодинамічні параметри газового потоку на вході у сопло можуть змінюватись, що негативно впливає на ефективність його роботи. Тому для забезпечення ефективної роботи сопла необхідно, щоб його геометричні параметри були регульованими. Проаналізувавши різноманітні конструкції регульованих сопел встановлено, що вони є доволі складними за конструкцією (містять багато рухомих елементів), мають великі габаритні розміри та масу [1-3].

Для забезпечення необхідних газодинамічних характеристик газового потоку, що рухається через сопло Лавалю, пропонується його конструкція, в якій можна змінювати діаметр отвору у критичному перерізі (рис. 1).

За допомогою імітаційного моделювання визначено деформований стан пропонованої конструкції сопла. Дослідження проводилось у нелінійній постановці. Встановлено, що при осьовому переміщенні притискної втулки на величину 10 мм радіус отвору сопла зменшується на 1,74 мм.

На рисунку 2 показано графічні залежності переміщення внутрішньої поверхні сопла на різних кроках дослідження. Також необхідно зауважити, що на цьому рисунку вказано переміщення поверхні від її початкового положення, тобто залежності описують переміщення точок від поверхні при осьовому стиску сопла. Це необхідно врахувати, щоб помилково не прийняти лінії за форму внутрішньої поверхні сопла.



1 – сопло Лаваля; 2 – корпус;
3 – натискна втулка; 4 – жорстке кільце

Рисунок 1 – Конструкція регульованого сопла Лаваля

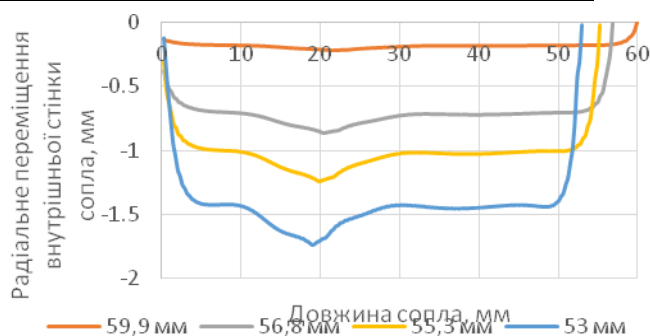


Рисунок 2 – Переміщення внутрішньої поверхні сопла на різних кроках дослідження

З метою проведення досліджень запропонованої конструкції сопла розроблено та надруковано на 3D-принтері пресформу (рис. 3).



а)

б)

а) – деталі форми; б) – форма у зборі

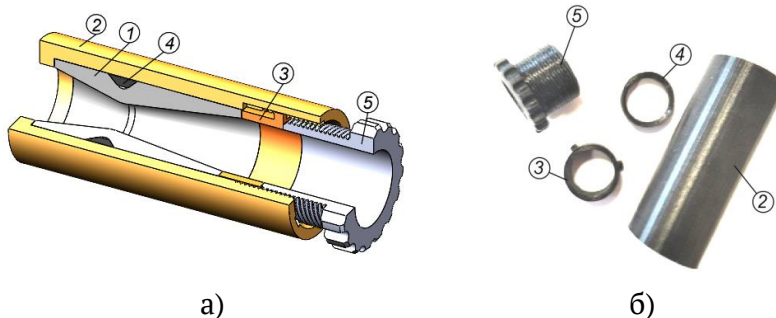
Рисунок 3 – Пресформа для виготовлення еластичного сопла

Сопло (рис. 4) виготовлене із силікону SKR-788 [4].

Для дослідження зміни геометричних параметрів запропонованого регульованого сопла розроблено пристрій, деталі якого виготовлено за допомогою 3D-принтера (рис. 5) [5, 6].



Рисунок 4 – Вилите сопло та пресформа



а)

б)

а) – 3D-модель у зборі; б) – надруковані на 3D-принтері деталі; 1 – еластичне сопло; 2 – корпус; 3 – натискна втулка;

4 – жорстке кільце; 5 – натискна гайка

Рисунок 5 – Конструкція пристрою для дослідження зміни герметичних розмірів сопла

Вимірний діаметр виготовленого еластичного сопла у критичному

перерізі без стискання у осьовому напрямку складає 11,8 мм, а при стисненні на величину 10 мм – 8,6 мм. Отже, радіальне переміщення еластичного сопла у критичному перерізі складає 1,6 мм.

Розбіжність між результатами, отриманими імітаційним моделювання та вимірними експериментально складає 7,5 %.

Висновки. Розроблено тривимірну модель запропонованої конструкції сопла у програмі SolidWorks та за допомогою імітаційного моделювання визначено її деформований стан. Встановлено, що при осьовому стиску сопла на величину 10 мм діаметр отвору у його критичному перерізі зменшується із 12 мм до 8,54 мм. Зі силікону SKR-788 вилито сопло у попередньо розроблену та виготовлену за допомогою 3D-принтера пресформу. Для проведення дослідження зміни геометричних розмірів виготовленого сопла розроблено та надруковано на 3D-принтері спеціальний пристрій. За результатами проведених досліджень сопла за допомогою цього пристрою встановлено розміри його критичного перерізу: діаметр сопла без стискання у осьовому напрямку складає 11,8 мм, а при стисненні на величину 10 мм – 8,6 мм.

Література

1. Абрамович Г.И. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч. 1: учеб. Руководство для вузов. М.: Наука. Гл.ред. физ-маг.лит, 1991. 600 с.
2. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. Пермь ОАО «Авиадвигатель», 2006.
3. <https://patents.su/3-1255765-reguliruemyyj-ehzhektor.html>
4. https://silikoni.com.ua/ua/molding_silicone/skr-788-silikon-dlya-form
5. Михайлюк В., Ердей З., Джус А., Дічюк В., Родіч В. Проектування та 3D-прототипування: посібник. Івано-Франківськ: Фоліант, 2022. 105 с.
6. Vembenek M., Gazda W., Михайлюк В. В., Рудейченко О. О., & Дейнега Р. О. Аналіз можливості вдосконалення 3D-друку обертових елементів методом FDM. Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. 2022. №1(52). С. 73–81. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1\(52\)-73-81](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1(52)-73-81)

RESEARCH OF ADJUSTABLE LAVAL NOZZLE

Mykhailiuk Vasyl, Liakh Mykhailo, Protsiuk Vasyl,

Deineha Rruslan, Vytrykhovskiy Yevstakhii, Stetsiuk Roman

Abstract. Heat exchangers are the most common and simplest equipment for cooling gas streams, but heat must be removed for their operation. However, by using a Laval nozzle, it is possible to achieve cooling of the gas flow due to a physical phenomenon in which the gas flow velocity is reduced to the speed of sound. The efficiency of such a nozzle depends on the change in the gas flow rate in it.

Therefore, to regulate the mode of operation of the Laval nozzle, its design is proposed, which is simpler than the existing ones, cheaper to manufacture and operate. The nozzle is made of an elastic material - silicone, and is located in a special housing, into which a compression nut is inserted, which compresses the nozzle in the axial direction. Due to this achievement, the inner opening of the nozzle is reduced. Conducted simulation studies of the proposed design of the nozzle made it possible to apply its deformed state, developed and printed on a 3D printer of a mold - to make a silicone nozzle and conduct its research. After conducting a study of the silicone nozzle, it was established that the diameter of the hole at the critical section without deformation in the axial direction is 11.8 mm, and at a deformation of 10 mm - 8.6 mm.

Keywords: Laval nozzle; gas flow; adjustment of geometric parameters; simulation modeling; deformation

References

1. Abramovich G.I. Prikladnaya gazovaya dinamika. V 2 ch. Ch. 1: ucheb. Rukovodstvo dlya vtuzov. M.: Nauka. Gl.red. fiz-mag.lit, 1991. 600 p. [in Russian]
2. Inozemtsev A.A., Sandratskiy V.L. Gazoturbinnyye dvigateli. Perm OAO «Aviadvigatel», 2006. [in Russian]
3. <https://patents.su/3-1255765-reguliruemyjj-ehzhektor.html>. [in Russian]
4. https://silikoni.com.ua/ua/molding_silicone/skr-788-silikon-dlya-form. [in Russian]
5. Mykhailiuk V., Erdei Z., Dzhus A., Dichiuk V., Rodich V. Proektuvannia ta 3D-prototypuvannia: posibnyk. Ivano-Frankivsk: Foliant, 2022. 105 p. [in Ukrainian]
6. Bembenek M., Gazda W., Mykhailiuk V. V., Rudeichenko O. O., & Deineha R. O. Analiz mozhlyvosti vdoskonalennia 3D-druku obertovykh elementiv metodom FDM. NaukovyivisnykIvano-Frankivskohonatsionalnohotekhnichnohouniversytetunafty i hazu. 2022. No 1(52). P. 73–81. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1\(52\)-73-81](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1(52)-73-81). [in Ukrainian]