

5. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДЗВУКОВОГО НАСАДКУ ДЛЯ РІДИН ТА ГАЗІВ

А.Ф. Фесенко, О.М. Тимонін

Національний Технічний Університет України «КПІ»

А.В. Копиленко

Національний університет харчових технологій

Надзвуковий насадок, запропонований проф. І. М. Федоткіним [1], призначений для використання в енергетичних установках як сопловий насадок в газових і водяних турбінах, літальних апаратах для збільшення реактивної тяги за рахунок охолодження вихлопних газів, кавітаційній техніці і технології, для водного транспорту як реактивний водометний двигун, для розгону газових і водяних потоків за рахунок їх тепла з використанням підсосу пари або повітря (чи газу), гідродинамічної кавітації і кипіння рідини в соплах для прискорення паро-рідинного потоку.

На рис. 1 представлена конструкція секційного багатоступеневого надзвукового насадку з глухими камерами (пазухами). Насадок складається з набору сопел 1, 2, 3, 4, що звужуються, розміщених в корпусі 5. Сопла з корпусом утворюють глухі камери 6, 7, 8 (пазухи). Корпус 5 з'єднується різьбою 9 із вхідним патрубком 10. Конус зовнішньої поверхні насадка 1 утворює з конусом його внутрішньої поверхні 2 порожнину 6. Потік рідини втікає в патрубок 10 і утворює струмінь, який виходить із сопла 1. Під дією струменя в порожнині 6 утворюється вакуум. Тиск перед соплом 1 падає, збільшується перепад тиску між входом в патрубок 10 і виходом із сопла 1. Збільшення цього перепаду тиску

приводить до прискорення руху струменя. Прискорення руху струменя обумовлює зростання вакууму в порожнині 6, що збільшує перепад тиску між входом 10 і виходом із сопла 1. Це викликає подальше прискорення струменя, що виходить із сопла 1. В наслідок цього утворюється процес з позитивним прогресуючим зворотнім зв'язком. Аналогічні процеси протікають в конусах сопел 2, 3 і пазухах 7, 8.

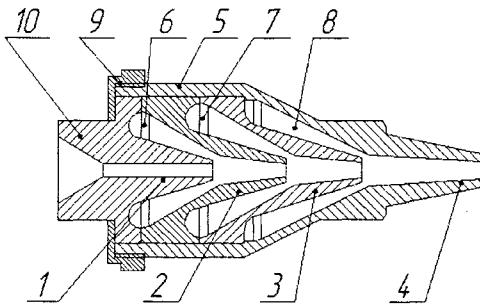


Рис. 1. Схема надзвукового насадку

Дослідження гідродинамічних та теплових процесів, що відбуваються в насадку проводилось за допомогою універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу — ANSYS. Для гідродинамічних розрахунків використана підсистема FLUENT, яка призначена для моделювання складних течій рідин і газів з широким діапазоном властивостей. Результати розрахунку представлені в вигляді розподілу тиску, швидкості, ентальпії, температури та густини в проточній частині насадку.

Для аналізу результатів та працездатності надзвукового насадку використовується рівняння загального енергобалансу [2]:

$$C_v T_1 + \frac{p_1}{\rho_1 g} + \frac{w_1^2}{2g} = C_v T_2 + \frac{p_2}{\rho_2 g} + \frac{w_2^2}{2g} \quad (1)$$

де p , w , C_v , ρ , T — відповідно тиск, швидкість, теплоємність при постійному об'ємі, густина рідини (повітря) та її абсолютна температура.

Рівняння нерозривності потоку відображає постійність масової витрати повітря в соплі за відсутності його підсосу

$$G = \rho_1 w_1 = \rho_2 w_2 = const \quad (2)$$

Швидкість повітря на виході з сопла визначається з рівняння (1)

$$w_2 = \sqrt{2g \left[\frac{p_1}{\rho_1 g} - \frac{p_2}{\rho_2 g} + (C_v T_1 - C_v T_2) \right] + w_1^2} \quad (3)$$

З рівняння (3) випливає, що зростання швидкості в надзвуковому соплі, яке спричиняє зростання кінетичної енергії потоку, відбувається за рахунок зниження ентальпії, унаслідок чого відбувається його охолодження.

Проте, враховуючи рівняння постійної масової витрати газу за відсутності його підсосу (2), збільшення кінетичної енергії потоку повітря відбуватиметься не пропорційно:

$$\rho_1 w_1 = \rho_2 w_2 = const; \text{ звідси } \frac{\rho_2 w_2^2}{2} = \frac{\rho_1 w_1}{2} w_2,$$

тоді збільшення кінетичної енергії дорівнює

$$\frac{\rho_2 w_2^2}{2} \cdot \frac{2}{\rho_1 w_1^2} = \frac{\rho_1 w_1 w_2}{\rho_1 w_1^2} = \frac{w_2}{w_1} \text{ раз,}$$

тобто пропорційно збільшенню швидкості, а не її квадрату.

Таким чином, для суттєвого збільшення кінетичної енергії потоку необхідно по ходу потоку додавати повітря, збільшуючи його масову витрату $G = \rho w$. Цю задачу і вирішує конструкція запропонованого сопла.