

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ КАВІТАЦІЇ В СОПЛІ ВЕНТУРІ

Анісімов В. В., канд. техн. наук, асистент, Єрмаков П. П., д-р. техн. наук, проф.

Державний вищий навчальний заклад

«Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ

Представлено багатofакторні експериментальні дослідження впливу геометричних параметрів кавітаційного сопла Вентурі на інтенсивність кавітації в ньому. Також представлено відповідну експериментальну кавітаційну установку та методику проведення експериментів.

Multifactor experimental study of cavitation Venturi nozzle geometric parameters influence on intensity of cavitation is presented. Also accordable cavitation experimental apparatus and method of experiments are presented.

Ключові слова: кавітаційне сопло, сопло Вентурі, інтенсивність кавітації.

1. Вступ

Кавітація – явище виникнення в рідині парових, газових або парогазових бульбашок із зародків під дією локальних низьких тисків з можливим наступним їх схлопуванням.

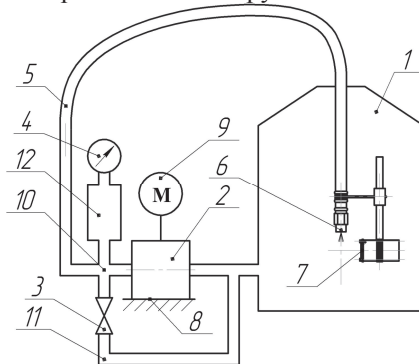
Кавітацію досліджують як негативне явище [1,2], а також як засіб інтенсифікації технологічних процесів, зокрема процесів хімічної технології [2-4]. У зв'язку з широким застосуванням кавітації у хімічній промисловості, актуальною задачею є розробка нових, більш ефективних кавітаторів. Одними з найперспективніших з цієї позиції є гідродинамічні кавітатори, зокрема кавітаційні сопла, які дозволяють проводити інтенсивну кавітаційну обробку при малих енерговитратах і з високою продуктивністю.

Загальновідомим кавітатором є сопло Вентурі, яке поєднує в собі високу ефективність та простоту конструкції. Тим не менш на даний момент відкритим залишається питання встановлення найбільш ефективних комбінацій геометричних розмірів для зануреного в рідину варіанта даного сопла.

2. Викладення основного матеріалу

2.1. Опис експериментальної установки

Дослідження проводились на експериментальній струменевій кавітаційній установці (рис. 1).



1 – буферна ємність; 2 – шестеренний насос; 3 – вентиль; 4 – манометр; 5 – напірний трубопровід;
6 – кавітаційне сопло; 7 – датчик; 8 – плита; 9 – двигун; 10 – розподільчий вузол;
11 – трубопровід скидання; 12 – компенсатор тиску.

Рис. 1 - Загальний вигляд кавітаційної установки

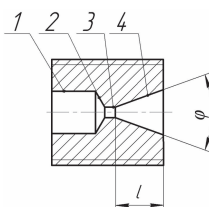
Установка (рис. 1) працює наступним чином. Рідина з буферної ємності 1 всмоктується шестеренним насосом 2, з якого під тиском, що задається вентилем 3 та вимірюється манометром 4, подається через напірний трубопровід 5 до кавітаційного сопла 6. В кавітаційному соплі 6 рідина значно прискорюється і в ній починають зростати кавітаційні бульбашки. Після виходу з сопла кавітаційні бульбашки схлопуваються, а імпульси тиску, що при цьому виникають, фіксуються датчиком 7 на базі п'єзоелектричного елемента та передаються на комп'ютер у вигляді осцилограм. Такі акустичні дослідження дозволяють проводити порівняно велику кількість дослідів і, таким чином, отримати повну інформацію про досліджуваний процес.

За амплітудою коливань в осцилограмі оцінюється інтенсивність кавітації в соплі.

Після виходу з сопла рідина певний проміжок часу знаходиться в буферній ємності 1, при цьому перемішуючись, після чого знову потрапляє до шестеренного насосу 2 через всмоктувальний патрубков. Таким чином здійснюється багатократна обробка рідини.

2.2. Об'єкти дослідження

В якості об'єктів дослідження обрано набір кавітаційних сопел Вентурі, узагальнений ескіз яких представлений на рис. 2.



1 – вхідна частина; 2 – перехідний конфузор; 3 – вузька частина; 4 – дифузор.

Рис. 2 - Узагальнений ескіз досліджуваного сопла

Предметом дослідження є геометричні розміри дифузору 4 сопла Вентурі, зокрема довжина дифузору l та кут розкриття дифузору φ . Дослідження будуть проводитись при різних швидкостях рідини v у вузькій частині сопла з метою визначення впливу режиму руху рідини в соплі на інтенсивність кавітації.

Основною задачею досліджень є визначення таких геометричних параметрів сопла Вентурі, при яких інтенсивність кавітації в ньому буде найбільшою.

2.3. Методика проведення досліджень

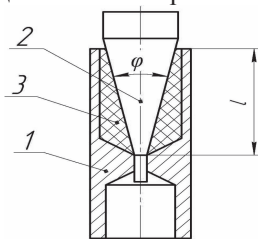
Виходячи з того, що загальна кількість досліджуваних факторів становить 3, то для якісного дослідження їх всіх у взаємозв'язку необхідним є проведення великої кількості дослідів при масштабному повному факторному експерименті або використанні певних способів зменшення кількості дослідів, наприклад симплекс-методу планування.

Враховуючи те, що будь-який спосіб зменшення кількості дослідів також відбирає і наукову інформацію, яку вони можуть нести, а також значні можливості експериментальної установки, які дозволяють проводити велику кількість дослідів, прийнято рішення проводити повний факторний експеримент з трьома факторами.

В рамках даного дослідження довжину дифузору l будемо змінювати в межах від 2 до 20 мм на 10 рівнях варіювання. Кут розкриття дифузору φ будемо змінювати в межах від 5° до 50° на 10 рівнях варіювання. Швидкість рідини будемо змінювати в межах від 33 до 50 м/с на 4 рівнях варіювання. Кількість паралельних дослідів будемо проводити в кількості 5 шт. В результаті загальні кількість дослідів в плані становить 2 000 шт.

Враховуючи те, що середня тривалість одного дослідів становить менше 5 с, то загальний час, необхідний на безпосереднє проведення дослідів становить менше трьох годин.

Більш трудомісткою задачею є виготовлення необхідної кількості кавітаційних сопел з відповідними параметрами. Для проведення дослідів необхідно 100 кавітаційних сопел різної форми. З метою зменшення трудомісткості виготовлення кавітаційних сопел вони частково виготовлялись за допомогою лиття епоксидного клею за технологією, представленою на рис. 3.



1 – корпус сопла; 2 – формуючий конус; 3 – литий дифузор.

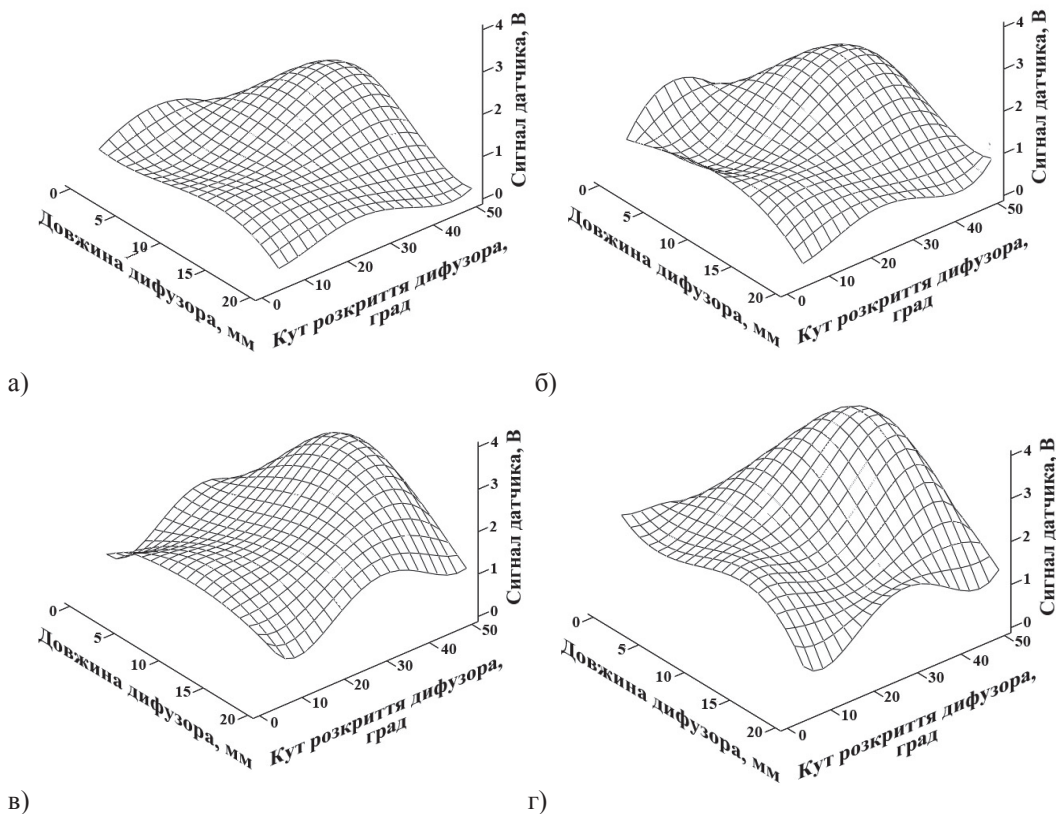
Рис. 3 - Технологія виготовлення кавітаційного сопла для досліджень

Для утворення необхідної кількості кавітаційних сопел виготовлено 10 корпусів сопла 1 (рис. 3), які відрізняються довжиною дифузornoї частини l а також 10 формуючих конусів 2, які в свою чергу відрізняються тільки кутом розкриття φ . Формуючий конус 2 базується по циліндричній поверхні корпусу.

В результаті в кожному з 10 корпусів сопла з різними довжинами дифузornoї частини можна послідовно утворити по 10 дифузорів з різними кутами розкриття і, таким чином, утворити всі 100 закладених в експеримент кавітаційних сопел.

2.5. Обговорення результатів експериментів

Проведено дослідження залежності інтенсивності кавітації від довжини, кута розкриття дифузору сопла Вентурі а також швидкості руху рідини у вузькій частині кавітаційного сопла. За результатами проведених досліджень отримано графічні залежності, представлені на рис. 4.



а – 33 м/с ($Re = 65\,000$); б – 38 м/с ($Re = 75\,000$); в – 43 м/с ($Re = 85\,000$); г – 50 м/с ($Re = 99\,000$).

Рис. 4 - Залежності інтенсивності кавітації від довжини та кута розкриття дифузору при різних швидкостях рідини:

З рис. 4 видно, що залежність має екстремальний характер при всіх швидкостях рідини. Положення екстремуму суттєво не змінюється зі зростанням швидкості рідини у вузькій частині сопла і спостерігається в діапазоні довжин дифузору 8 мм (що відповідає 4 діаметрам вузької частини) та при куті розкриття 40°. Збільшення швидкості руху рідини спричиняє в цілому монотонне зростання інтенсивності кавітації на всій досліджуваній області.

Висновки

Представлені дослідження дозволяють за допомогою встановлення запропонованих розмірів дифузору кавітаційного сопла Вентурі досягати найбільшої інтенсивності кавітації без додаткових енергетичних витрат. Представлені експериментальні дані можуть бути використані при розробці кавітаторів на базі сопла Вентурі.

Література

1. Пирсол И. Кавитация [Текст] / И. Пирсол. - М. : Мир, 1975. – 95 с.
2. Reynolds O. The causes of racing of the engines of screw steamers, investigated theoretically and by the experiment [Text] / O. Reynolds. - Tr. Inst. Naval Arch. V14 Sc. Papers, 1, 56-57, 1873.
3. Рождественский В. В. Кавитация [Текст] / В. В. Рождественский. – Л. : «Судостроение», 1977 г. - 247 с.
4. Смородов Е. А. Физика и химия кавитации. [Текст] / Е. А. Смородов, Р. Н. Галиахметов, М. А. Ильгамов. - М. : Наука, 2008. - 228 с.