

УДК 628.34+54-41

З.О. Знак докт. техн. наук, проф., Ю.В. Сухацький, Р.В. Мних
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
ГІДРОДИНАМІЧНОГО СТРУМЕНЕВОГО КАВІТАТОРА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ
ГЕНЕРУВАННЯ ПАРОГАЗОВИХ БУЛЬБАШОК**

Z.O. Znak Dr., Prof., Y.V. Sukhatsky, R.V. Mnykh
**STUDY OF THE INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS HYDRODYNAMIC JET
CAVITATOR ON THE EFFECTIVENESS OF GENERATION OF VAPOR-GAS
BUBBLES**

Сучасні технології очищення стічних вод з високим вмістом органічних речовин (стоки підприємств харчової, переробної галузей) характеризуються багатостадійністю, значними енерговитратами, вимагають створення певних умов для оптимального режиму роботи обладнання. Зважаючи на це, актуальним на сьогодні є пошук нових, нетрадиційних методів очищення таких стічних вод. До сучасних, перспективних методів інтенсифікації різноманітних процесів, у тому числі й очищення стічних вод, належать концентровані енергетичні впливи з використанням фізичних та хімічних ефектів, для створення яких застосовують зовнішні джерела енергії. Найефективнішим є підведення до системи зовнішньої нетеплової енергії у вигляді акустичних чи імпульсних коливань. Вони забезпечують значну локалізацію енергії у короткотривалих часовій і просторовій областях, що супроводжується різноманітними фізико-хімічними ефектами; особливе місце серед таких процесів посідає кавітація.

Застосування кавітаційних полів для активації малорозчинних неорганічних реагентів, зокрема, кальцію гідроксиду в технологіях очищення стічних вод зумовлює зростання седиментаційної стійкості його частинок, що збільшує час їх перебування в зоні реакції; суттєво підвищує температуру реакційного середовища внаслідок колапсу кавітаційних парогазових бульбашок; інтенсифікує дифузійні процеси (процеси тепло- і масопереносу); спричиняє диспергування частинок кальцію гідроксиду з виникненням на їх поверхні ювенільних реакційноактивних ділянок [1].

Розрізняють два основних способи створення кавітації: акустичний (використання акустичних коливань ультразвукового діапазону) та гідродинамічний (зниження тиску в потоці до значень, що відповідають тиску насиченої водяної пари за відповідних умов). Сфера застосування акустичної кавітації обмежена лабораторними дослідженнями, оскільки вона потребує значних енерговитрат на оброблення одиниці об'єму рідини та зумовлює ерозію робочих елементів, наприклад, магніострикторів. Перевагами застосування методу гідродинамічної кавітації є рівномірність просторового оброблення рідиннофазового середовища та висока продуктивність.

Під час реалізації процесу гідродинамічної кавітації в системі кальцію гідроксид-стічні води (забруднені, в основному, солями жирних кислот) на установці, основним елементом якої був гідродинамічний кавітатор, спостерігали супутній ефект – флотацію продуктів взаємодії кальцію гідроксиду з солями жирних кислот на поверхню рідини. Це стало підставою для розроблення концепції кавітаційно-флотаційної технології очищення стічних вод від органічних сполук.

Фактором, що визначає ефективність будь-якої технології очищення стічних вод, є вибір оптимального режиму роботи обладнання та його конструкції. Тому з метою визначення оптимального робочого режиму досліджували вплив конструктивних параметрів кавітувального елемента на ефективність генерування парогазових бульбашок у гідродинамічному кавітаторі струменевого типу. Суттєвою перевагою цих кавітаторів,

порівняно з іншими, є відсутність ерозії робочого елемента (сопла). Гідродинамічний кавітатор складався з кварцового корпусу, вузлів герметизації та кавітувального елемента (профільованих сопел) із змінним внутрішнім діаметром 1,6; 2,2; 3,1 мм. Тиск на вході в кавітатор (0,35...0,57 МПа) регулювали байпасом.

Ефективність гідродинамічного кавітатора з різними кавітувальними елементами визначали за енергетичним (тепловим) коефіцієнтом корисної дії (ККД), що є відношенням теплової потужності до потужності приводу насоса. Паралельно вивчали вплив кількості сопел на величину енергетичного ККД. Встановлено, що у випадку застосування 2 сопел максимальний енергетичний ККД становив 77 % (за тиску на вході в кавітатор 0,57 МПа). Використання 3 сопел дало змогу істотно підвищити енергетичний ККД. Так, із підвищенням тиску від 0,35 до 0,57 МПа найбільші значення енергетичного ККД (63,5 і 88,9 % відповідно) були досягнуті за використання сопел із внутрішнім діаметром 1,6 мм. З врахуванням втрат теплоти на нагрівання металевих частин кавітатора та втрат теплоти в циркуляційній ємності і комунікаціях, визначених під час холостих досліджень за різницею нагрівання і охолодження води (в умовах підключеного до електромережі та вимкненого відцентрового насоса відповідно), максимальний енергетичний ККД гідродинамічного кавітатора становив 90,6 %.

Вплив просторової конфігурації сопел на ефективність роботи гідродинамічного кавітатора визначали змінюючи кут атаки струменів (кут між осями сопел) в діапазоні 50...150°. Встановлено, що із зростанням кута від 50 до 150° енергетичний ККД зменшувався від 88,9 до 86,4 %. Зазначений ефект можна пояснити зменшенням площі зіткнення струменів рідини під час утворення кумулятивного струменя. В даному випадку площа зіткнення струменів рідини є чинником, що впливає на генерування певної кількості кавітаційних бульбашок, їх колапс і відповідно кількість теплоти, що витрачається на нагрівання води. Отже, виникнення і розвиток кавітації в кавітаторі струминного типу можна розглядати як псевдогетерогенний процес.

Для визначення критичного радіуса зародків кавітації, максимального радіуса кавітаційних бульбашок та їх кількості використовували відомі залежності [2, 3]. Величина радіуса кавітаційної бульбашки є важливою характеристикою на стадії флоатації, оскільки розмір бульбашки повинен бути співмірний із розміром частинок забруднювача (чим дрібнодисперсніші кавітаційні бульбашки та більша їх кількість, тим ефективніше відбувається процес флоатації). Зважаючи на вищесказане, найкращі умови для генерування кавітаційних бульбашок спостерігали за таких параметрів кавітувального елемента: кількість сопел – 3; внутрішній діаметр – 1,6 мм; кут атаки струменів – 50°; тиск на вході в кавітатор – 0,57 МПа. Розраховані значення критичного радіуса зародків кавітації, максимального радіуса кавітаційної бульбашки та їх кількості становлять 13 мкм, 60 мкм та $19,7 \cdot 10^{13}$ од./м³ відповідно.

Отримані експериментально та оброблені математично результати використали для вибору оптимального режиму генерування кавітаційних бульбашок.

Література.

1. Мних Р.В. Кавітаційна активація малорозчинних неорганічних реагентів у технологіях очищення стічних вод (на прикладі кальцію гідроксиду): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 05.17.21 “Технологія водоочищення” / Мних Роман Володимирович; НТУУ “КПІ”. – К., 2014. – 20 с.
2. Иванов О.С., Василишин М.С. О кавитационном измельчении твердых дисперсных материалов // Ползуновский вестник, 2010. - № 4-1. – с. 206-209.
3. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 260 с.