

Литвиненко О. А.

Некоз О. І.

Кавун В. П.

Бойко Ю. І.

*Національний
університет
харчових
технологій*

УДК 664:532.528

ВПЛИВ ПУЛЬСАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОТОКУ В ГІДРОДИНАМІЧНИХ КАВІТАЦІЙНИХ АПАРАТАХ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ СЕРЕДОВИЩ

В статті розглянуто вплив пульсацій технологічного потоку в гідродинамічних кавітаційних апаратах на ефективність оброблення середовищ. Встановлено залежність інтенсивності впливу гідродинамічної кавітації від конструкції та розмірів робочих вузлів.

In the article influence of pulsations of technological stream is considered in hydrodynamic cavitation vehicles on efficiency of treatment of environments. Dependence of intensity of influence of hydrodynamic cavitation is set on a construction and sizes of workings knots.

Переважна більшість технологічних процесів у різних галузях промисловості потребують інтенсифікації для поліпшення умов їх проведення та покращення якості оброблюваних продуктів. Останнім часом з цією метою застосовують різноманітні фізико-механічні ефекти, зокрема такі, що супроводжують гідродинамічну кавітацію [1,2]. Їх спільна дія на технологічний потік дозволяє ефективно перемішувати, диспергувати та гомогенізувати компоненти середовища та одержувати кінцеві продукти високої якості.

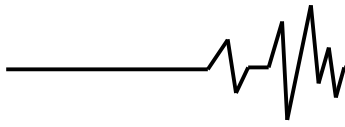
Як відомо [3], одним із способів інтенсифікації оброблення є накладення пульсацій на технологічний потік. В гідродинамічних кавітаційних апаратах (ГКА), для яких кавітаційні режими є експлуатаційними, пульсації, як правило, виникають в хвостовій частині приєднаної кавітаційної каверни, що генерується за кавітатором в ГКА, і залежать від їх конструктивних особливостей.

Основні фактори, які визначають ефективність кавітаційної обробки, можна умовно поділити на три групи.

До першої належать параметри, які визначаються конструктивними особливостями

ГКА: розмірами і формою кавітатора, проточної камери. Друга група факторів характеризується технологічними властивостями оброблюваного середовища, а до третьої групи відносяться параметри, пов'язані з особливостями реалізації процесу: тривалість оброблення, що визначається кратністю проходження середовища через кавітаційну зону, співвідношення фаз його компонентів, температура процесу і тиск. Ефективність кавітаційного оброблення залежить від спільного впливу зазначених факторів.

Відомо, що форма кавітатора визначає розвиток характерної форми кавітації і суттєво впливає на ерозійну активність кавітаційного поля, яка визначає ефективність кавітаційної обробки. Сукупний вплив розмірів кавітатора та зазору між ним і стінкою проточної камери (пристінного зазору) в місці його розташування враховується коефіцієнтом стиснення потоку [1]. Визначальними факторами ефективності кавітаційної обробки є кількість і розміри кавітаційних бульбашок, що утворюються при розпаді каверн і залежать від основних гідродинамічних параметрів технологічного потоку: швидкості і стадії кавітації кавітації (λ)-відношення довжини кавітаційної зони до



максимального розміру кавітатора в його поперечному перетині, які обумовлені конструктивними особливостями пристрою [2].

Для оброблення різних технологічних середовищ, зокрема харчової та фармацевтичної промисловості, необхідна індивідуальна енергетична дія. Для подрібнення, наприклад, волокнистої рослинної суспензії потрібна інтенсивна "жорстка" обробка. Менший енергетичний вплив потрібен для змішування, розчинення, гомогенізації, наприклад, молока. Ще менший - при необхідності активації технологічних середовищ, аеруванні, при екстрагуванні органічних сполук для фармацевтичних виробництв. Параметрами, що визначають інтенсивність енергетичного впливу кавітаційної обробки на технологічні середовища є, як відомо, стадія кавітації і кратність обробки. Регулюючи кожний з цих параметрів, можна настроювати ГКА на різний рівень енергетичної дії на середовище. Однак в науковій літературі недостатні або суперечливі відомості про енергетичні характеристики ГКА внаслідок відсутності єдиної методики їх визначення. Крім того, інтенсифікації кавітаційного оброблення сприяє накладення імпульсних тисків на технологічний потік внаслідок пульсацій хвостової частини приєднаної кавітаційної каверни за кавітатором.

Для уточнення і подальшого дослідження енергетичних показників ГКА була створена експериментальна кавітаційна установка у вигляді горизонтальної гідротруби замкнутого типу з робочою ділянкою, в якій розміщували модель апарата з кавітаторами в прозорій проточній камері і моделювали умови роботи пристроїв з різними конструктивними особливостями (рис. 1), а також вибрані відповідні методики досліджень і контрольні-вимірвальні прилади.

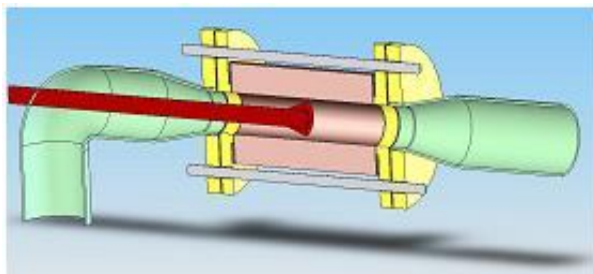


Рис. 1. Модель апарата з кавітаторами

Кавітатори, які розміщували в проточній камері ГКА, виготовляли конічними з різними кутами розкриття: 30°, 60°, 90° та 120°. Це

дозволило моделювати різні гідродинамічні кавітаційні течії при сталій величині пристінного зазору. Кавітатор у вигляді конуса з гострими кромками дозволяє отримати фіксовану лінію відриву потоку для зменшення енерговитрат на утворення каверн [3].

Відомо, що ударно-хвильова (ерозійна) активність кавітаційного поля визначається стадією кавітації λ . Цим обумовлений вибір стадії кавітації за визначальний параметром для характеристики режиму роботи апарата. Для дослідження роботи ГКА вибирали фіксовані значення λ , а саме: $\lambda = 1,0$; $\lambda = 2,8$; $\lambda = 5,0$. При $\lambda = 1,0$ виникає режим течії, для якого характерна бульбашкова форма кавітації і який можна вважати перехідним від бульбашкового до кавітаційного. Як показали проведені дослідження, при $\lambda = 2,8$ незалежно від значення числа Re , ударно-хвильова дія на середовище максимальна. При $\lambda = 5,0$, для якої характерна змішана форма кавітації, виникає суперкавітація. Таким чином, вибрані значення стадії кавітації дозволяють змоделювати різну ефективність її ударно-хвильової дії на середовище.

Візуальними спостереженнями каверноутворення в проточній камері ГКА установки встановлено, що для кожної стадії кавітації λ характерне індивідуальне кавітаційне поле з певною структурою. Це визначає його енергетичний потенціал і, таким чином, інтенсивність ударно-хвильового впливу гідродинамічної кавітації на середовище. Розрахунок об'ємно-поверхневого діаметра $d_{оп}$ часток масляної фази емульсії для зазначених λ свідчить, що зі збільшенням λ від 1,0 до 2,8 $d_{оп}$ суттєво зменшується, досягає свого мінімального значення при $\lambda = 2,8$ і поступово збільшується при значенні $\lambda > 2,8$ до $\lambda = 5,0$. Причому, значення $d_{оп}$ при $\lambda = 1,0$ і $\lambda = 5,0$ суттєво не відрізняються. Така закономірність зберігається в діапазоні всіх досліджених значень Re , причому, з підвищенням Re різниця $d_{оп}$ при $\lambda = 1,0$ і $\lambda = 5,0$ зменшується. Це дозволяє припустити, що ударно-хвильова дія ГД кавітації при $Re > 12,6 \cdot 10^4$ має однакову інтенсивність при обробленні емульсій з відносно невисоким (до 5%) вмістом масляної фази при перехідних формах кавітації - бульбашковій і змішаній. З наведених результатів також видно, що зі зміною числа Re до $14,8 \cdot 10^4$ підвищується кількість жирових кульок в діапазоні від 0 до 40...50 мкм, тобто підвищується дисперсність емульсії, що свідчить про поліпшення її якості. Таким чином, оптимальне диспергування масляної фази з її вмістом в емульсії до 5% доцільно проводити при числі $Re > 12,6 \cdot 10^4$, а вибір значення $\lambda = 2,8$



посилює ударно - хвильовий кавітаційний вплив на середовище.

Зразки одержаних емульсій досліджували також на стійкість до розшарування, що є додатковим методом визначення їх якості.

Аналіз одержаних результатів свідчить, що найбільшу стійкість мають зразки емульсії, які виготовлені при $\lambda = 2,8$; їх стійкість в середньому в 3,6 і 2,8 рази більша, ніж для емульсій, одержаних відповідно при $\lambda = 1,5$ і $\lambda = 5,0$. В той же час встановлено, що зі збільшенням числа Re загальна стійкість емульсій підвищується. Це свідчить про те, що при цьому утворюється не тільки більш дрібнодисперсна, але і більш стійка до розшарування емульсія.

Зовсім інші залежності виникають при кавітаційному обробленні суспензій.

З аналізу результатів досліджень оброблення 2%-ної суспензії целюлози при різних технологічних режимах в умовах, аналогічних умовам приготування емульсій, видно, що режими оброблення, найбільш ефективні в процесі емульгування, неефективні в такій же мірі при обробці суспензій. Зі зменшенням λ від 2,8 до 1,0 ефективність подрібнення частинок суспензії збільшується, причому, більш інтенсивно одночасно з підвищенням числа Re . Найбільший приріст питомої поверхні суспензії досягається вже при 5-разовій обробці в кавітаційному полі, а подальше оброблення суттєво не впливає на її дисперсні характеристики. Таким чином, обробку суспензій доцільно проводити в режимах початкової (бульбашкової) форми кавітації.

Одержані експериментальні результати свідчать, що енергія, накопичена кавітаційними бульбашками, генерованими при розпаді кавітаційних каверн, стрибкоподібно перетворюється в енергію кумулятивних мікрострумків та ударних хвиль, що характеризує енергетичний рівень кавітаційної дії на оброблюване в ГКА технологічне середовище. Тобто, аналіз енергетичних показників роботи ГКА є важливим для максимально ефективного використання енергії кавітаційного поля.

Витрати потужності практично зручно оцінювати критерієм Ейлера, оскільки характеристики, які входять до критеріального рівняння, легко визначаються при лабораторних дослідженнях. Крім того, критерій Ейлера є функцією стадії кавітації λ і величини пристінного зазору в ГКА. На основі експериментальних даних з використанням комп'ютерного моделювання встановлена залежність імпульсної зміни величини

енергетичних витрат по довжині проточної камери ГКА. Аналіз графічних залежностей, наведених на рис.2, показує, що суттєві втрати тиску технологічного потоку спостерігались на ділянках зменшення поперечного перетину ГКА: в конфузурі при вході в проточну камеру, при натіканні потоку на кавітатор.

Водночас стрибкоподібний сплеск енерговитрат фіксується також і за кавітатором по ходу потоку, причому найбільш характерно на ділянці, характерній для початкової (бульбашкової) стадії кавітації. Пульсації тиску, які виникають в ГКА, пов'язані, на нашу думку, з утворенням зворотних мікротечій внаслідок проходження імпульсних хвиль стиснення-розрядження, що сприяє турбулізації потоку і подальшій інтенсифікації масообмінних процесів в ГКА. Крім того, пульсації потоку інтенсифікують відрив кавітаційних каверн від кавітатора і посилюють енергетичну дію на середовище.

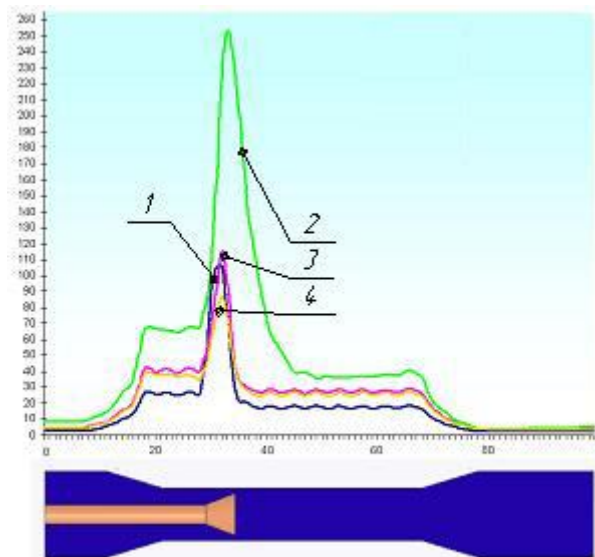
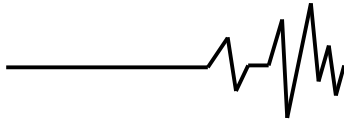


Рис. 2. Графічні залежності зміни значення критерію Ейлера від кута розкриття кавітуючого елемента:

крива 1 – кут розкриття 30°; крива 2 – кут розкриття 60°; крива 3 – кут розкриття 90°; крива 4 – кут розкриття 120°

Висновки

1. Встановлено, що енерговитрати на оброблення різних технологічних середовищ та ефективність оброблення визначаються конструкцією і розмірами робочих вузлів ГКА та



можуть бути визначені за допомогою критерія Ейлера і визначається конструктивними особливостями ГКА.

2. Структура кавітаційного поля і пульсації технологічного потоку в ГКА сприяють інтенсифікації кавітаційної дії на середовище і визначаються особливостями його конструкції.

Література

1. Федоткин И.М., Гулый И.С., Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в

промышленности. Ч.1. – К.: Полиграфкнига, 1987.-839 с.

2. Кавітаційні пристрої в харчовій, переробній та фармацевтичній промисловості / О.А. Литвиненко, О.І. Некоз, П.М. Немирович, З. Кондрат. – К.: УДУХТ, 1999.-87 с.

3. Федоткин И.М., Жарик Б.Н., Погоржельский Б.И. Интенсификация технологических процессов пищевых производств. – К.: Техніка, 1984. – 176 с.