

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ УТВОРЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ БУЛЬБАШОК ВІД ЧАСТОТИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ

Остапенко Ж.І., Волошенко І.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, zhanna.ost@gmail.com

Вступ. Ультразвукові хвилі можуть викликати кавітацію в рідині, що призводить до утворення кавітаційних бульбашок. Коли бульбашки розриваються, вони можуть створювати місцеві зони високого тиску та температури, що можуть призвести до різноманітних хімічних та фізичних ефектів.

Кавітаційні бульбашки виникають у наслідок швидкої зміни тиску в рідині, що призводить до їх утворення та розриву. Цей процес відбувається дуже швидко, тому що енергія, необхідна для утворення кавітаційної бульбашки, є відносно великою. Час існування кавітаційної бульбашки дуже короткий і залежить від багатьох факторів.

Утворення та динаміка кавітаційних бульбашок в рідинах - це складний процес, та при певних налаштуванні ультразвукового обладнання можна регулювати розміри та форму кавітаційних бульбашок.

Метою роботи є встановлення залежностей між частотою ультразвукових коливань і параметрів кавітаційної бульбашки.

Матеріали та методи. Ультразвукова кавітація в рідині – це процес утворення кавітаційних бульбашок в рідинах під дією ультразвукового випромінювання. Енергія, утворена ультразвуковими хвилями здатна знижувати тиск у рідинах, що в свою чергу може провокувати утворення порожнин або бульбашок.

Ультразвукова кавітація використовується в багатьох галузях, включаючи хімічну та біологічну обробку рідин, очищення води, розчинення твердих речовин у рідинах, зміну властивостей матеріалів, тощо. Ультразвукові коливання можуть підвищувати ефективність процесів, що відбуваються в рідині, та зменшувати вплив шкідливих факторів на довкілля.

Під час проходження ультразвукових хвиль через рідину, вони можуть створювати кавітаційні бульбашки. Коли бульбашка досягає максимального розміру, вона може розриватися в результаті тиску пару, що утворюється всередині неї. Цей процес називається кавітаційним розривом.

Максимальний радіус кавітаційної бульбашки може досягати величини від кількох мікрометрів до декількох міліметрів та залежить від багатьох факторів, включаючи частоту ультразвуку, амплітуду коливань, в'язкість рідини та інші параметри.

Максимальний радіус кавітаційної бульбашки визначаємо за формулою, м [1,2]:

$$R_{\max} = \frac{0,4}{f} \cdot \left(1 - \frac{P_{cm}}{P_{m0\min}}\right) \cdot \sqrt{\frac{P_{m0\min}}{\rho}},$$

де P_{cm} - гідростатичний тиск, Па.

$P_{m0\min}$ – мінімальна амплітуда звукового тиску, Па;

ρ - густина рідини, кг/м³.

Тривалість існування кавітаційної бульбашки залежить від багатьох факторів, таких як розмір бульбашки, тиск, температура та хімічний склад рідини, амплітуда та частота ультразвукових хвиль.

В загальному час існування кавітаційної бульбашки можна розділити на наступні етапи:

1. Час розширення, протягом якого бульбашка збільшує свій розмір під впливом ультразвукової хвилі.

2. Час зхлопування, коли тиск пару всередині бульбашки стає достатньо великим, щоб подолати силу поверхневого натягу.

Час розширення кавітаційної бульбашки визначаємо за формулою, с [1]:

$$t_{\text{розш}} = \frac{0,4}{f} \cdot \left(1,9 - \frac{P_{cm}}{P_{m0min}} \right),$$

де f – частота ультразвукових коливань, Гц;

Час зхлопування бульбашки визначаємо за рівнянням, с [3]:

$$t_{\text{зх}} = \frac{0,36}{f} \left(1 - \frac{P_{cm}}{P_{m0min}} \right) \cdot \left[2,9 \cdot \frac{P_{cm}}{P_{m0min}} - 3,4 \left(\frac{P_{cm}}{P_{m0min}} \right)^2 + 0,6 \right]^{-1/2}.$$

Результати та обговорення. Дослідження впливу частоти ультразвукових коливань проводились для води. Відомо, що для води оптимальна частота для виникнення кавітації становить 20-50 кГц.

В таблиці 1 представлені результати розрахунків максимального радіусу кавітаційної бульбашки та часу розширення та зхлопування кавітаційної бульбашки.

Таблиця 1. Розраховані величини

f , кГц	$t_{\text{зх}} \cdot 10^5$, с	$t_{\text{розш}} \cdot 10^4$, с	$R_{\text{max}} \cdot 10^4$, м
20	1,452	3,43	1,696
25	1,162	2,744	1,356
30	0,968	2,286	1,13
35	0,829	1,96	0,9689
40	0,726	1,715	0,8478
45	0,645	1,524	0,7536
50	0,581	1,372	0,6782

За результатами проведених досліджень встановлено, зі збільшенням частоти ультразвукових коливань максимальний радіус, час розширення та зхлопування кавітаційної бульбашки зменшується, причому на менших частотах (20-30 кГц) параметри зменшуються більш стрімко.

На Рис. 1 представлено залежність часу розширення і зхлопування кавітаційної бульбашки від максимального радіусу.

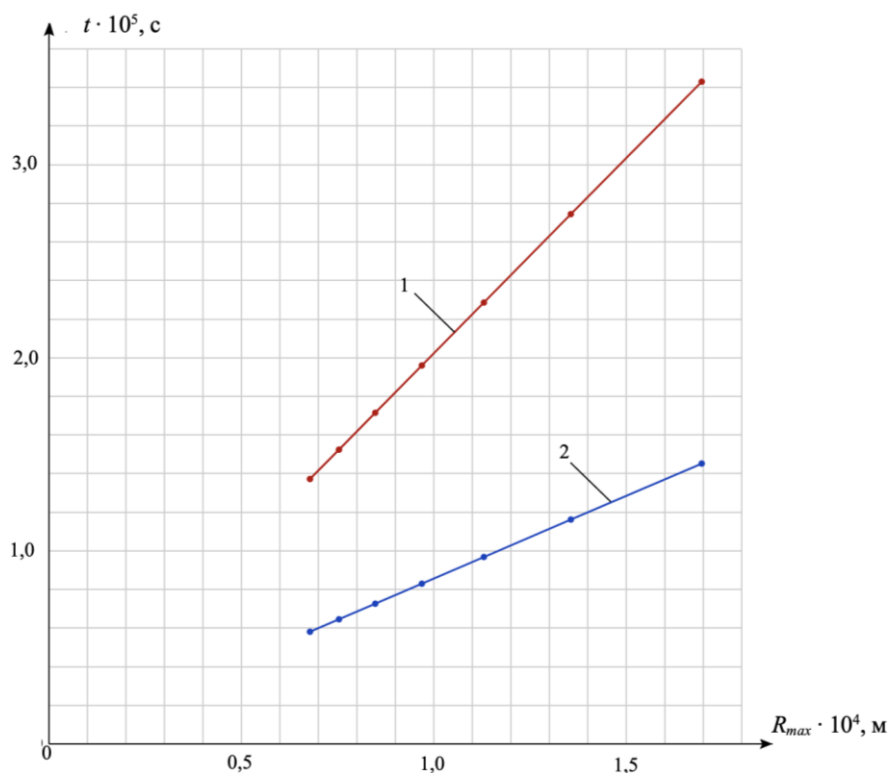


Рис. 1. Залежність часу від максимального радіусу кавітаційної бульбашки:
1 – час розширення кавітаційної бульбашки;
2 – час зхлопування кавітаційної бульбашки

Отримані залежності показують, що зі збільшенням розміру кавітаційної бульбашки при низьких частотах, час розширення та зхлопування зростає, а отже збільшується час її існування в рідині.

Висновки. У ході дослідження було визначено залежність максимального радіусу кавітаційної бульбашки у воді, час її розширення та зхлопування від частоти ультразвукових коливань.

Встановлено, що зі збільшенням частоти ультразвукових коливань максимальний радіус кавітаційної бульбашки зменшується, крім того зменшується час зростання бульбашки і час її зхлопування. Ці явища призводять до збільшення частоти виникнення ударних хвиль при зхлопуванні бульбашок і інтенсифікації процесів тепломасопереносу в апаратурі, де використовуються ультразвукова кавітація.

Список використаної літератури:

1. Ostapenko Zh. Determination of the influence of the sound capillary effect on the process of soaking vegetable raw materials in the acoustic extractor // Technology audit and production reserves. 2023. № 1/3 (69). P. 31–38.
2. Розина Е. Ю. Кавітаційний режим звукокапілярного ефекту // Акустичний вісник. 2003. Том 6, №1. С. 48–59.