

УДК 534.222:532

ЕНЕРГЕТИКА КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

Берник І.М., канд. техн. наук, доцент
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця

Розглянуто енергетичний баланс досліджуваної системи, визначені складові енергії на протікання кавітаційного процесу обробки технологічного середовища.

We consider the energy balance of the system, defined the energy to flow cavitation processing technology environment.

Ключові слова: контактна сила, енергетика, тиск, амплітуда коливань, потужність, ультразвукова обробка, кавітація.

Актуальність теми. Кавітація в сучасних прогресивних технологіях являється одним із найефективніших методів протікання процесів обробки різних середовищ, які за визначенням класичної реології лежать в межах від твердих тіл до рідинних суспензій. Зусиллями вітчизняних і зарубіжних вчених і інженерів значно збільшилися розробки в частині апаратних пристроїв, які являються збудниками для утворення кавітаційних процесів в середовищі. Застосовуються два основні способи – гідродинамічний і акустичний. І в першому, і в другому випадку визначальним параметром є енергія, що витрачається на зародження і розвиток кавітаційних бульбашок, захоплення яких і обумовлює ефективність протікання того чи іншого технологічного процесу. Особливою є область контактної зони передачі енергії від кавітаційного апарату до технологічного середовища. Адже оцінка енергетики в цій області і визначення оптимальної умови створення області зародження кавітації і оптимальної передачі до середовища, як ефекту розвиненої кавітації є актуальною задачею.

Аналіз досліджень. Визначенню енергетики кавітаційної обробки присвячена низка вітчизняних [1–7] і зарубіжних досліджень [8]. Моделі, що використовувалися в дослідженнях ґрунтувалися на різних підходах щодо фізичних явищ, які протікають від зародження до захоплення кавітаційних бульбашок. При цьому розглядаються процеси кавітації одиничних бульбашок, так і кавітаційних областей [3, 9, 10].

Методика дослідження. Існуючі підходи дослідження кавітаційних процесів в системі “апарат – середовище”, як правило, здійснювалися окремо для пошуку раціональних конструкцій апаратів, що мали генерувати коливання з резонансною частотою, яка визначалася із умови $x/4$ (x – довжина хвилі) [11], а процес розвитку кавітаційних бульбашок досліджувався у технологічному аспекті (наприклад, оцінки складових тиску, часу захоплення бульбашок тощо) [12]. Очевидно, що пошук рішення процесів підвищення кавітаційних явищ лежить у площині спільного розгляду системи “апарат – середовище”, як системи єдиної. Тоді енергетика процесу будуватиметься на уявленні віброакустичного процесу із цілеспрямованим формуванням максимальної енергії безпосередньо в контактній зоні, а з розгляду хвильової теорії це має розглядатися як внутрішній резонанс системи за яким гармонізуються фазові коливання кавітаційного апарату і технологічного середовища.

Результати дослідження. При виборі динамічної моделі для визначення енергії визначалися умови взаємодії кавітаційного апарату та технологічного середовища як ті, що передають і сприймають енергію контактної зони в умовах спільних (безвідривних) коливань. За таких умов робота контактної зони для одного періоду коливань:

$$A_k = \int_0^{2\pi/\omega} F_k \dot{x} \sin \alpha \cos \omega t dt \quad (1)$$

де F_k – контактна сила, що має зсув фази на кут φ відносно амплітуди контактної зони; $\dot{x}$ – швидкість коливань контактної зони.

Якщо приймати, що $F_k = P_k \cdot S$, P_k – тиск в контактній зоні площею S , то вираз (1) при урахуванні, що тиск може бути визначений за формулою [13]:

$$P_k = V_0 \rho \omega \sqrt{\frac{(\sin kl \cos \beta l)^2 - (\cos kl \sin \beta l)^2}{(k^2 + \beta^2)[(\cos kl \sin \beta l)^2 + (\sin kl \cos \beta l)^2]} \quad (2)$$

де вираз під коренем визначає вплив хвильових явищ технологічного середовища на значення тиску. Виділяючи із (2) дисипативну складову опору середовища і позначивши її через μ після нескладних перетворень з урахуванням (1) і (2) отримаємо вираз для роботи контактної зони

$$A_k = \pi m_c x_0^2 \omega^2 \mu \quad (3)$$

де m_c – маса технологічного середовища;

x_0 – амплітуда контактної зони.

Далі визначаємо середню потужність P_{cp} :

$$P_{cp} = 0,5 m_c x_0^2 \omega^2 \mu \quad (4)$$

Саме вираз (3) і (4) є значеннями шуканих параметрів загальної роботи і потужності контактної зони. Відмінність залежності (4) від існуючих полягає в тому, що у відомих залежностях [4] використовується поняття приєднаної маси, яка є контактною. В дійсності маса середовища залежить від акустичних параметрів, які в (4) враховуються хвильовим коефіцієнтом.

За умов імпульсного навантаження в контактній зоні поняття амплітуди коливань, як і сили (рис. 1) втрачає своє визначення.

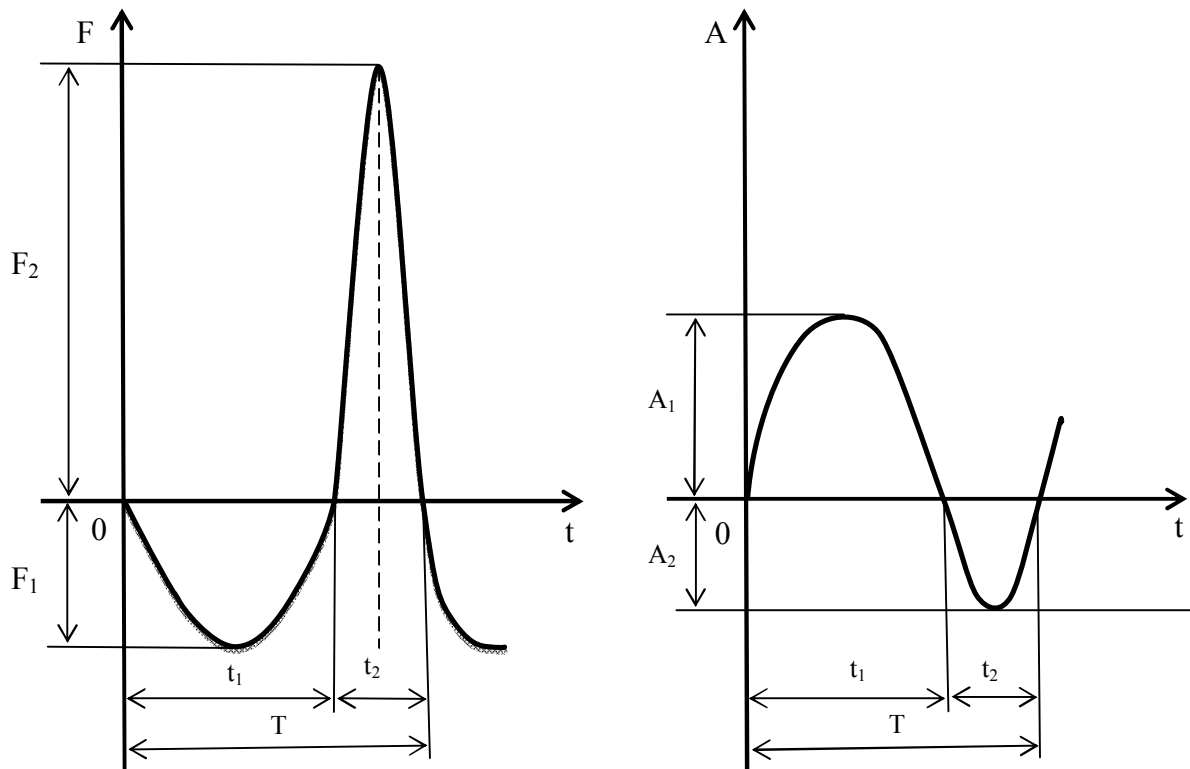


Рис. 1 – Характер зміни переміщення (A) і сили (F) в контактній зоні за умов імпульсного навантаження

З рис. 1 випливає, що в першому наближенні зміна контактної сили може бути представлена у вигляді:

$$R(t) = -R \sin \left[\frac{\pi t}{\pi(1-\alpha)} \right] \quad (5)$$

За умови, що $\alpha = \frac{1}{2} = F_1 = F_2$ і рух середовища кавітаційної зони буде квазігармонічним.

Оскільки режим вже не гармонійний, а асиметричний і мова має бути про переміщення у відповідні відрізки часу: $t_n = t_1 + t_2$ де t_1 – частина періоду при одному переміщенні A_1 , а t_2 – при A_2 . Позначивши $\alpha = t_1 / t_2$ і $\omega_{cp} = 2\pi / t_n$ – осереднене значення частоти; F_1, F_2 – амплітуди сил у відповідні періоди коливань контактної зони. За таких припущень вираз питомої енергії, віднесеної до одиниць об'єму V:

$$\bar{E} = \frac{\Delta E}{V} = \frac{F \Delta A t_1}{\rho S \Delta A t_1} = \frac{F t_1 \Delta A \omega_{cp}}{2 \pi \rho S \alpha} \quad (6)$$

У формулі (6) присутні всі складові параметрів динамічної дії кавітаційного апарату та характеристики технологічного середовища. Залежність (3) – (6) відображають енергетику хвильового поля в контактній зоні, а визначення енергії, що витрачається на утворення кавітаційних бульбашок n , здійсненої з максимальним радіусом $R_{\max}$ при їх захопленні можна в першому наближенні скористатися формулою [14]:

$$E_{\text{кав}} = 4\pi(P_0 + \alpha P_{\max})(R_{\max}^3 - R_{\min}^3)n \quad (7)$$

Акустична енергія введена в технологічне середовище лише частково витрачається на утворення кавітаційної області. У зв'язку з цим, доцільно розглянути акустично-кавітаційний коефіцієнт корисної дії, тобто коефіцієнт кавітаційного використання енергії ультразвукових хвиль:

$$\eta = \frac{E_{\text{кав}}}{E}, \quad (8)$$

де E – підведена акустична енергія.

Енергія $E_{\text{кав}}$ накопичена кавітаційними бульбашками, які відіграють роль мікротрансформаторів, що перетворюють акумульовану потенціальну енергію системи в кінетичну енергію рідини, що розподілена в просторі та в часі. Енергія виділяється одночасно у великій кількості малих локальних зон, що рівномірно розподілені в об'ємі. Пульсації кавітаційних бульбашок та їх захоплення створюють у мікрооб'ємах інтенсивні мікротечії, ударні хвилі, кумулятивні струмені, сонолюмінесценцію і локальне підвищення температури та тиску. Зазначені ефекти кавітації впливають на процеси в гетерогенних рідинних технологічних середовищах, ініціюючи різні фізико-хімічні перетворення й змінюючи фізико-хімічні властивості рідини.

Ефективність кожного з цих процесів потребує подальших досліджень та може бути оцінена окремо.

Зокрема енергію ударних хвиль через $E_{y,x}$, можна розглянути, як відношення:

$$\chi = E_{y,x} / E_k \quad (9)$$

що відображає трансформацію потенційної енергії кавітаційних бульбашок, в енергію ударних хвиль. Згідно досліджень $\chi \approx \rightarrow 1$.

Розглядаючи енергію кавітації у взаємозв'язку з потужністю технологічного апарату, що підводиться за період та витрачається на утворення кавітації, отримаємо залежність:

$$W_k = \frac{E_{\text{кав}}}{T} = \frac{\eta E}{T} = \eta W \quad (10)$$

де W – потужність, що вводиться в технологічне середовище апаратом.

Звідси потужність ударних хвиль:

$$W_{y,x} = \frac{E_{y,x}}{\tau_0} = \frac{E_{\text{кав}}}{\tau_0 \chi} = \frac{\eta \chi}{\tau_0} E \quad (11)$$

Виходячи з залежностей (10) та (11) коефіцієнт переходу акустичної енергії в енергію ударних хвиль:

$$\eta_y = \frac{W_y}{W} = \eta \chi \frac{\tau}{\tau_0} \quad (12)$$

Висновки

1. Отримані залежності (2-7) розкривають енергетику кавітаційної області і дають можливість розрахувати ту частку енергії, що витрачається на утворення ефектів кавітації.

2. Розглянутий підхід визначення енергії в контактній зоні на основі моделювання технологічного середовища системою з розподіленими параметрами відкриває шляхи для інтенсифікації кавітаційних процесів.

3. Встановлено вплив формфактора навантаження на протікання процесу кавітації, практична реалізація якого потребує знання числових значень тиску, або акустичних параметрів технологічного середовища акустичного апарату.

4. Аналітичні залежності (8-12) визначають ефективність параметрів кавітаційного апарату, його коефіцієнт корисної дії та режим навантаження і являються критеріями оцінки утворення і розвитку кавітаційної області.

Література

1. Основы физики и техники ультразвука / Б.А.Агранат, М.Н.Дубровин, Н.Н.Хавский, Г.И.Эскин. – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.
2. Богуславский Ю.Я. О распространении звуковых волн в жидкости при кавитации // Ю.Я.Богуславский// Акустический журнал. – 1968. – Т. 14, вып. 14. – С. 185-189.

3. Богуславский Ю.Я. О кавитационной области в сходящейся сферической звуковой волне // Ю.Я. Богуславский // Акустический журнал. – 1968. – Т. 14, вып. 3. – С. 463-465.
4. Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. (теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов) Ч. I. / И.М. Федоткин, И.С. Гулый – К.: Полиграфкнига, 1997. – 838 с.
5. Луговской А.Ф. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях / А.Ф. Луговской, Н.В. Чухраев. – К.: Київський університет, 2007. – 245 с.
6. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах. Монографія / Т.М. Вітенько – Тернопіль: Видавництво ТДТУ ім. І Пулюя, 2009. – 224 с.
7. Низькочастотні віброрезонансні кавітатори / Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, В.Л. Старчевський. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 176 с. – ISBN 978-617-607-509-7.
8. Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Д. Дейли, Ф. Хэммит. – М.: Мир, 1974. – 687 с.
9. Пешковский С.Л. Исследования кавитационной области / С.Л. Пешковский, А.Д. Яковлев // Акустический журнал. – 1976. – Т. 22, вып. 3. – С. 422-426.
10. Розенберг Л.Д. Кавитационная область // Мощные ультразвуковые поля / Л.Д. Розенберг; [под ред. Л.Д. Розенберга]. – М.: Наука, 1968. – Ч. 6. – С. 221 – 266.
11. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи / Е. Кикучи, пер с англ. И.П. Галяминой. – М.: Мир, 1972. – 424 с.
12. Хорошев Г.А. О захлопывании паровоздушных кавитационных полостей / Г.А. Хорошев // Акустический журнал. – 1963. – Т. 9, вып. 3. – С. 340-346.
13. Берник І.М. Встановлення основних параметрів впливу технологічного середовища на робочий процес ультразвукової кавітаційної обробки / І.М. Берник, О.Ф. Луговський // Вібрації в техніці та технологіях. – 2014. – № 3 (75). – С. 121-126.
14. Долинский А.А. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах. Теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии / А.А. Долинский, Г.К. Иваницкий; НАН Украины, Институт технической теплофизики. - Киев: Наукова думка, 2008. - 381 с.: рис. - (Проект "Наукова книга"). - Библиогр.: с.350-378. - ISBN 978-966-00-0773-4.

УДК 577.3

ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ

**Бошкова И.Л., канд. техн. наук, доц., Волгушева Н.В. канд. техн. наук, доц.
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса**

Представлена методика расчета допустимого времени микроволновой обработки семян с целью их биостимуляции. На примере семян пшеницы твердой получено, что допустимая длительность обработки уменьшается с ростом влагосодержания и с увеличением начальной температуры зерна. Показано, что микроволновая обработка в режимах биостимуляции сопровождается одновременной дезинсекцией.

Method of calculation of permissible time of microwave treatment of seed is presented with the purpose of their bio-stimulation. On the example of seed of wheat is got, that possible duration of treatment diminishes with the increase of dryness and of settemperature of grain. It is shown, microwave treatment in the modes of bio-stimulation is accompanied by simultaneous fumigation.

Ключевые слова: биостимуляция, микроволновое поле, растительная клетка, семена зерновых, допустимое время, насекомые-вредители

Исследования влияния микроволнового электромагнитного поля на семена агрокультур доказали, что при определенных условиях микроволновой обработки наблюдается значительное усиление энергии всхожести и прорастания, повышение сопротивляемости к неблагоприятным факторам окружающей среды, и, в конечном счете, увеличению урожая [1,2]. Гипотеза возникновения эффекта биостимуляции рассмотрена в [3], согласно которой данный эффект связан с улучшением транслокации питательных веществ к зародышу вследствие повышения проницаемости растительной ткани. Для оценки расчетным путем длительности экспозиции в микроволновой камере составлена методика, основанная на представлении процессов преобразования микроволновой энергии во внутреннюю и на анализе ультраструктуры