

УДК 621.647.23

**Берник Ірина Миколаївна**, к.т.н., доц.,  
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

### Критерії оцінки кавітаційної обробки технологічних середовищ

**Анотація.** В роботі здійснена оцінка енергетики кавітаційної обробки за використання відомих та запропоновано нові критерії оцінки методів акустичної обробки технологічних середовищ: інтенсивність, співвідношення енергій, синергетичний коефіцієнт, коефіцієнт поглинання енергії, швидкості зміни тиску у часі; хвильового опору середовища в режимах кавітації до опору початкового стану середовища та інші. За таким підходом сформульовані синергетичні принципи вдосконалення режимів та параметрів систем «ультразвукова установка – технологічне середовище».

**Ключові слова:** технологічне середовище, ультразвукова кавітація, стадії обробки, енергія, критерії оцінки, синергетичні принципи.

Сучасний розвиток технології обумовлений пошуком рішень підвищення ефективності ультразвукового впливу на хіміко-технологічні процеси та зменшення енергетичних витрат. Ці дві задачі базуються в основному на двох напрямках досліджень: встановлення фізичних та математичних моделей, які найбільш наближено відображають реальний процес і виявлення способів, що інтенсифікують протікання процесу.

Енергетика кавітаційного процесу, як методологічний засіб для розробки критеріїв оцінки ефективності розкрита в роботі [1], в якій здійснено розвиток підходу [2] в частині впливу складових енергетичного балансу на процес розпилення:

$$E_{к.хв.} = E_{підв} - E_{к} - E_{в.т} - E_{г.с.}, \quad (1)$$

де  $E_{к.хв.}$  – ультразвукова енергія на збудження стоячої капілярної хвилі на поверхні шару рідини;  $E_{к}$  – енергія на утворення кавітаційної зони;  $E_{в.т}$  – енергія на подолання в'язкого тертя у шарі рідини;  $E_{г.с.}$  – енергія, яка випромінюється з поверхні рідини у газове середовище.

За основу визначення критеріїв оцінки ефективних режимів і параметрів робочого процесу акустичної обробки технологічного середовища використано поетапне застосування перехідної моделі від дискретного до континуального виду (рис. 1).

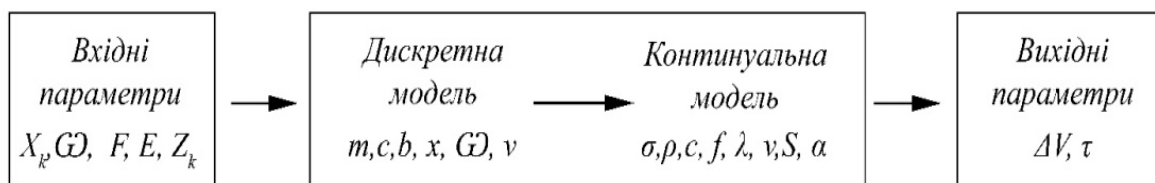


Рис. 1. Структурна схема моделі, що відображає процес протікання акустичної обробки технологічного середовища

Домінуючий вплив на послідовність протікання кавітаційного процесу здійснюють наступні акустичні параметри та властивості середовища:

$$F = f\{A, A_i, f, v, W, P, L, t, l, p, \sigma, c, E, \rho, \mu\}, \quad (2)$$

де  $F$  – функціонал (інтегральний критерій оцінки процесу);  $A$  – амплітуда коливань контактної зони «акустичний апарат – середовище»;  $A_i$  – потокова амплітуда коливань середовища на відстані  $x_i$  від границі контактної зони «акустичний апарат – середовище»;  $f$  – частота коливань акустичного апарату;  $v$  – швидкість коливань контактної зони «акустичний апарат – середовище»;  $W$  – енергія,  $P$  – потужність;  $L$  – інтенсивність;  $t$  – час;  $l$  – характерний розмір середовища у напрямку розповсюдження в ньому акустичної хвилі;  $p$  – тиск на середовище;  $\sigma$  – напруження в середовищі;  $c$  – швидкість розповсюдження акустичної хвилі в

середовищі;  $E$  – модуль пружності середовища;  $\rho$  – щільність середовища;  $\mu$  – коефіцієнт в'язкості середовища.

Інтегральними параметрами функції (2) являються енергія, інтенсивність, потужність, які і є ключовими параметрами критеріїв оцінки ефективності технологічного процесу.

На основі проведених досліджень розроблені енергетичні критерії оцінки ефективності ультразвукової кавітаційної обробки технологічних середовищ (табл. 1).

Для реалізації критеріальної оцінки обґрунтування раціонального вибору структурно-параметричної системи «акустичний апарат-технологічне середовище» запропоновано алгоритм (рис. 2).

Сутність алгоритму полягає у можливості варіювати не тільки вихідними параметрами та схемою розташування кавітатора відносно оброблювального середовища, а і визначити вплив змінних параметрів на максимальне значення того чи іншого критерія (табл. 1).

Запропонований алгоритм є принципово новою системою можливого автоматичного перебирання параметрів до виконання умови забезпечення того чи іншого критерія. Другим важливим аспектом цього алгоритму є створення системи управління процесом обробки об'єктів ультразвуковою кавітаційною установкою в оптимальному режимі її роботи.

Таблиця 1

Критерії та ключові параметри енергетичної оцінки ефективності кавітаційного процесу обробки технологічних середовищ

№, п/п	Критерій, параметр	Аналітична залежність
1	Інтенсивність кавітаційного процесу за видом коливань	
1.1	Синусоїдальні коливання, $Вт/см^2$	$I = \frac{p^2}{2\rho c}$ ; $I = A^2 \times f^3$ .
1.2	Нелінійні (не синусоїдальні) коливання, $Вт/см^2$	$I = \frac{\alpha \times A}{4\pi^2 T}$ .
2	Коефіцієнт синергії системи (ккд)	$k_c = E_c/E_{n.x}$ .
3	Коефіцієнт переходу акустичної енергії в енергію ударних хвиль	$k_y = \eta \frac{E_y T}{E_k \tau}$
4	Коефіцієнт зміни енергії у часі за весь період обробки бульбашок, $Дж/с$	$\mu = 1/T(\ln E_0 / E_k)$
5	Коефіцієнт поглинання енергії, $м^{-1}$	$k_n = P_{num}/I$ .
6	Коефіцієнт співвідношення хвильових опорів кавітаційного середовища	$k_{оп} = \frac{\rho_k c_k}{\rho_c c_c} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{K\beta_n}{\beta_0}} \right]^{1/2}$
7	Коефіцієнт співвідношення швидкостей	$k_v = v_0/c_k$ .
8	Відношення часу сплескування до періоду коливань	$k_t = \tau/T$ .
9	Питома енергія об'єму кавітуючого середовища, $Дж$	$A_c = E_c \Delta V$
10	Енергія контактної зони, $Дж$	$A_{кз} = \pi m_c x_0^2 \omega^2 \mu$ .
11	Енергія кавітатора, $Дж$	$\bar{A} = \bar{P} \cdot t$ .

Таким чином розроблені нові та вдосконалені відомі енергетичні критерії та ключові параметри, які приведені в послідовності реалізації оцінки можливих режимів та ефективності кавітаційного процесу обробки технологічних середовищ. Основна низка критеріїв передбачає оцінку енергетики процесу, як ключової характеристики так і врахування можливих змін

ключових параметрів від стадії зародження бульбашок до кінцевої стадії – сплескування бульбашок.

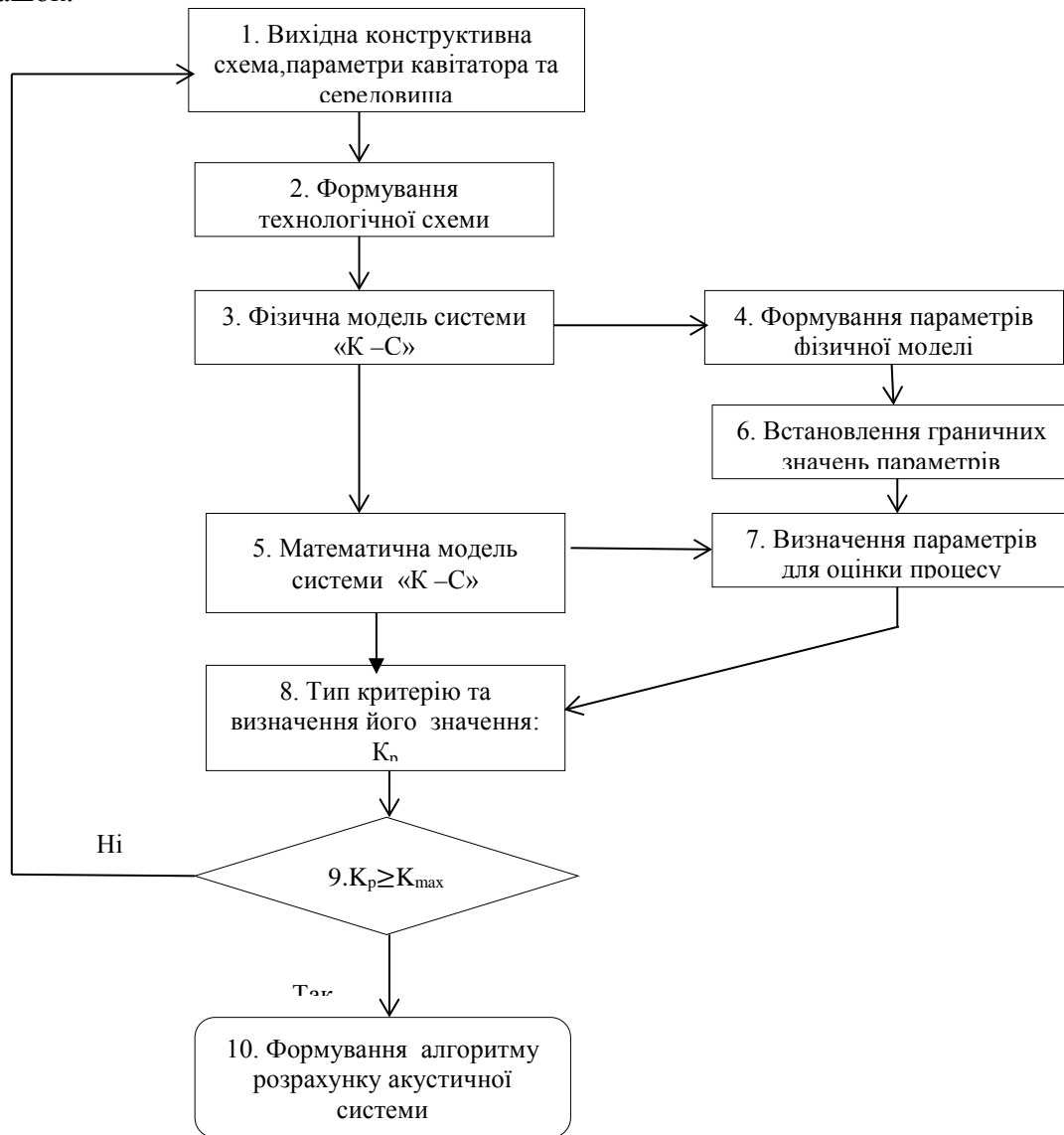


Рис. 2. Схема критеріальної оцінки обґрунтування раціонального вибору структурно-параметричної системи «акустичний апарат – технологічне середовище»

#### Список використаних джерел

1. Ляшок, А. Яхно, О. Луговской, А. (2013) “Энергетическая модель процесса ультразвукового распыления в тонком слое”, MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Vol. 15, №5, pp. 91–97.
2. Луговской, А.Ф. Чухраев, Н.В. (2007) Ультразвуковая кавитация в современных технологиях, Київський університет, Київ.