

УДК 641.539:664

**Г.М. Постнов**, канд. техн. наук

**М.А. Чеканов**, асист.

**В.М. Червоний**, асп.

**Д.А. Нечипоренко**, асп.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ АКУСТИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ УСТАНОВКИ**

*Розглянуто проблему визначення інтенсивності випромінювання акустичної потужності ультразвукової установки. Наведено методику розрахунку інтенсивності та дані розрахунку інтенсивності для диспергатора УЗДН-2Т.*

*Рассмотрена проблема определения интенсивности излучения акустической мощности ультразвуковой установки. Приведены методика расчета интенсивности и данные расчета интенсивности для диспергатора УЗДН-2Т.*

*The problem of determination of intensity of radiation of acoustic power of the ultrasonic setting is considered. Authors are result the method of calculation of intensity and information of calculation of intensity is resulted for disperser UZDN-2T.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Теоретичною проблемою, яка обумовила дане дослідження стала складність вимірювання вихідних параметрів ультразвукових магнітострикційних перетворювачів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даний час існують методики розрахунку вихідних параметрів ультразвукових коливальних систем, які дозволяють одержати тільки приблизні параметри окремих конструктивних елементів [1; 2].

Для вимірювання корисної акустичної потужності ультразвукових установок, призначених для роботи в рідких і рідкодисперсних середовищах використовують калориметричний метод [3]. Методика проведення вимірювань заснована на практичній реалізації калориметричного методу, який полягає в непрякій оцінці по ступеню нагрівання  $\Delta T = t_2 - t_1$  рідини в об'ємі  $V$  з адіабатною оболонкою, з відомою теплоємністю  $C$  і густиною  $\rho$ , оскільки ці параметри у рідині при нагріванні змінюються, за формулою:

$$P_{\text{ак}} = C \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{\Delta T}{t}, \quad (1)$$

де  $t$  – тривалість озвучення рідини, що знаходиться у вимірювальному об'ємі.

Проте цей спосіб дає приблизні значення. Крім того, використання емпіричних формул із залученням експериментальних результатів є досить складним і вимагає громіздких обчислень та витрат часу.

**Мета та завдання статті** полягає в необхідності визначення вихідних параметрів ультразвукових перетворювачів для полегшення і підвищення продуктивності праці під час роботи ультразвукових коливальних систем.

Інтенсивність ультразвукових коливань, яка передається через робочі інструменти до оброблюваного середовища, повинна складати  $3 \dots 10 \text{ Вт/см}^2$  [4]. Таким чином, визначення інтенсивності дозволить обґрунтувати час обробки продуктів харчування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Визначення інтенсивності акустичного випромінювання ультразвукових технологічних установок є невід'ємним і важливим етапом на стадії конструювання ультразвукової апаратури і в процесі ультразвукової обробки різних технологічних середовищ. Для настройки ультразвукових коливальних систем під конкретний технологічний процес, де величина акустичної потужності повинна бути суворо витримана в певних межах, оскільки величина акустичної потужності, що вводиться в середовище, є основним параметром ультразвукових установок установок і визначає якість і ступінь протікання технологічного процесу в ультразвуковому полі, то розробка сучасних методик визначення інтенсивності акустичного випромінювання ультразвукових коливань є актуальною задачею.

При всій різноманітності ультразвукового технологічного устаткування загальним для нього є те, що корисний ефект досягається за рахунок енергії ультразвукових пружних коливань. Будь-яка ультразвукова технологічна установка складається з джерела енергії й ультразвукової коливальної системи (перетворювач), що перетворює електричну енергію в енергію механічних ультразвукових коливань.

У цей час в ультразвуковій техніці найбільш широко використовують стрижневі п'єзоелектричні й магніострикційні перетворювачі поздовжніх коливань. Магніострикційний перетворювач, виготовлений зі сплавів, набирається із О-подібних пластин. У

зібраному виді він являє собою пакет прямокутного перетину із центральним вікном. На перетворювачі розміщується обмотка підмагнічування й збудження. Феритний магнітострикційний перетворювач звичайно виготовляють із двох стрижнів, між якими уклеєні постійні магніти. Обмотка збудження розташовується на двох стрижнях, створюючи замкнутий магнітний потік.

На практиці, зазвичай, використовують симетричний магнітострикційний перетворювач, який умовно можна уявити як систему трьох послідовно з'єднаних стрижнів. Довжина середнього стрижня дорівнює висоті вікна  $l_2$ , його поперечний переріз –  $S_2$ , довжина крайніх однакова й рівна товщині накладки  $l_1$ , для кожного з них поперечний переріз дорівнює  $S_2$ . Відношення площ поперечного переріза

$$q = \frac{S_1}{S_2} = \frac{a}{a-b}, \quad (2)$$

де  $a$  – ширина перетворювача, мм;  $b$  – ширина вікна, мм.

Визначення хвильових розмірів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  перетворювача проводиться за формулою:

$$\alpha_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c} \cdot l_1, \quad \alpha_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c} \cdot l_2, \quad (3)$$

де  $f$  – задана частота перетворювача, Гц;  $c$  – швидкість звуку в матеріалі перетворювача, м/с.

Аналіз роботи ультразвукових перетворювачів показує, що внутрішній опір перетворювача на резонансній частоті є активним і визначається потужністю механічних втрат у системі. Відповідно до загального визначення добротності матеріалу  $Q$ , що характеризує механічні втрати в ньому, являє собою відношення щільності пружної енергії до питомої потужності втрат за період.

З огляду на те, що коефіцієнт втрат  $Q^{-1}$  магнітострикційного перетворювача однаковий для середнього й крайнього стрижнів, одержуємо:

$$R_{\text{м.п.}} = \frac{\rho \cdot c \cdot S}{2Q} \cdot \left\{ 2\alpha_1 + \left[ \pi - 2\arctg\left(\frac{S_1}{S_2} \cdot \operatorname{tg}\alpha_1\right) \right] \cdot \frac{S_2}{S_1} \cdot \left( \cos^2\alpha_1 + \frac{S_1^2}{S_2^2} \cdot \sin^2\alpha_1 \right) \right\}, \quad (4)$$

де  $\rho$  – щільність матеріалу перетворювача, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – швидкість поширення ультразвукових хвиль в перетворювачі, м/с;

Розрахунок активного складового навантаження  $R_n$  проводиться за стандартними формулами.

Для однорідного стрижневого перетворювача амплітуда коливань на кінці  $\xi_{\text{пер}}$  визначається за формулою Статникова-Казанцева:

$$\xi_{\text{пер}} = \frac{\sigma_T \cdot S \cdot A}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (Z_i + R_n)}, \quad (5)$$

де  $S$  – площа поперечного переріза активної частини перетворювача ( $S = S_2$ );  $\sigma_T$  – амплітуда змушеної напруги.

Для магнітострикційного перетворювача  $\sigma_T = \sigma_M$  – амплітуда магнітострикційних напруг.

Внутрішній опір перетворювача  $Z_i$ ; має комплексний характер. Його реактивна складова обертається в нуль на частоті механічного резонансу. При цьому амплітуда коливань досягає максимуму. Активна складова внутрішнього опору перетворювача при резонансі дорівнює опору механічних втрат перетворювача  $R_{\text{м.п.}}$ , а коефіцієнт  $A = \cos \alpha_1$ . З урахуванням зв'язку амплітуди коливань на кінці робочої частини перетворювача й на накладці, а також з урахуванням трансформації опору навантаження накладкою було отримано загальне вираження для розрахунку амплітуди коливань на торці перетворювача  $\xi_{\text{пер}}$  при резонансі. Аналіз його показав, що для випадку, коли добротність матеріалу можна вважати постійною, амплітуда коливань пропорційна амплітуді магнітострикційних напруг:

$$\xi_{\text{пер}} = \frac{\sigma_T \cdot S_2 \cdot \cos \alpha_1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (R_{\text{м.п.}} + R_n)}. \quad (6)$$

Використовуючи дані про вид концентратора та випромінювача, їх геометричні розміри, з допомогою номограм [5] можна отримати розрахункові показники амплітуди коливань на торці випромінювача  $\xi_{\text{випр}}$ . Цей показник є одним з головних факторів, що впливає на інтенсивність випромінювання акустичної потужності ультразвукової установки. Для ультразвукового диспергатора УЗДН-2Т  $\xi_{\text{випр}} = 1,8 \cdot \xi_{\text{пер}} = 68 \text{ мм}$ . Ці дані підтверджуються мікроскопічним вимірюванням амплітуди коливань випромінювача. Інтенсивність акустичної потужності ультразвукового випромінювання розраховано за формулою:

$$I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c \cdot (2\pi \cdot f)^2 \cdot \xi_{\text{випр}}^2, \quad (7)$$

де  $\rho$  – густина оброблювального середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – швидкість поширення ультразвукових хвиль, м/с;  $f$  – частота ультразвукових коливань, Гц;  $\xi_{\text{випр}}$  – амплітуда коливань, м.

За розрахунками, інтенсивність акустичної потужності ультразвукового випромінювання для ультразвукового диспергатора УЗДН-2Т склала 2,5 Вт/см<sup>2</sup>, що дозволяє використовувати ультразвукову обробку для різних видів оброблюваних середовищ.

**Висновки.** Представлена методика для розрахунку інтенсивності акустичної потужності ультразвукових коливань дозволяє отримати вихідні дані ультразвукових установок. Це дозволяє при конструюванні ультразвукових випромінювачів прогнозувати вихідні характеристики, а при роботі з ультразвуковими установками обґрунтовувати час обробки оброблюваних середовищ.

#### *Список літератури*

1. Квапшин, С. Е. Медицинские электроакустические системы [Текст] / С. Е. Квапшин. – М. : МГТУ, 2002. – 228 с.
2. Хмелев, В. Н. Размерная обработка хрупких и твердых материалов [Текст] / В. Н. Хмелев, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок. – Барнаул : АлтГТУ, 1999. – 130 с.
3. Ультразвуковая технология [Текст] / Б. А. Агранат [и др.]. – М. : Металлургия, 1974. – С. 226–228.
4. Хмелёв, В. Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве : научная монография [Текст] / В. Н. Хмелёв, О. В. Попова. – Барнаул : АлтГТУ, 1997. – 160 с.
5. Китайгородский, Ю. И. Инженерный расчёт ультразвуковых колебательных систем [Текст] : учеб. пособие для слушателей заочных курсов повышения квалификации ИТР по применению ультразвука в машиностроении / Ю. И. Китайгородский, Д. Ф. Яхимович, – М. : Машиностроение, 1982. – 56 с.

Отримано 15.03.2009. ХДУХТ, Харків.

© Г.М. Постнов, М.А. Чеканов, В.М. Червоний, Д.А. Нечипоренко, 2009.