

Порівняльний аналіз енерговитрат

| Показники | Апарат ZM-2, «KOLIN», Чехія | Апарат БГ-3, ІТТФ НАНУ, Україна |
|--|--------------------------------|------------------------------------|
| Потужність, кВт | 14 | 5,5 |
| Продуктивність, кг/годину | 500 | |
| Енергоємність на 1 кг продукції, кВт год/кг | 28 | 11 |
| Економія енергії, кВт год/рік | - | 13260 |

1. Долинский А.А., Басок Б.Й., Гулый С.И., Накорчевский А.И., Шурчкова Ю.А. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях. - К. 1996. 2. Басок Б.Й., Гартвиц А.П., Коба А.Р., Горячев О.А. Оборудование для получения и обработки высоковязких дисперсных сред //Промышленная теплотехника. - 1996. -18.-№1.-С. 50-56.

УДК. 536.24

О. Чайка, Б. Басок, А. Накорчевський, М. Мартиненко
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

КОЛИВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ В КАНАЛІ ПУЛЬСАТОРА

© Чайка О., Басок Б., Накорчевський А., Мартиненко М., 2002

Розглянуто задачу визначення характеристик власних, вільних загасаючих коливань рідини в каналі пневмопульсаційного перемішуючого пристрою. Виконано експериментальні дослідження вільних загасаючих коливань рідини.

The task for determination of characteristics of fluid natural and free oscillation in the pneumo-pulse mixing device has been considered. Experimental investigation of free damped oscillations of fluid has been done.

В Інституті технічної теплофізики НАН України для розробки та впровадження нових енергоощадних технологій створено апарати для одержання водних і водно-спиртових екстрактів з рослинної сировини, зокрема пневмопульсаційні екстрактори різних типорозмірів. Їх робота базується на принципі дискретно-імпульсного введення енергії в гетерогенні системи [1]. Одна із особливостей функціонування екстракторів полягає в тому, що в них при накладенні вимушених збурень на власні коливання рідини в каналі пневмопульсаційного перемішуючого пристрою (рис. 1) виникає явище резонансу, яке приводить до значної інтенсифікації перемішування та, відповідно, енергозаощадження. Тому аналіз власних коливань рідини в апараті має важливе практичне значення.

Метою нашої роботи було визначення періоду власних вільних загасаючих коливань рідини в пневмопульсаційному перемішуючому пристрої. Для цього було виконано математичне моделювання власних, вільних загасаючих коливань системи та порівняно отримані розрахунки з даними експериментальних досліджень.

Запропонована математична модель роботи пульсаційного апарата базується на рівнянні руху ідеальної рідини в каналі пневмопульсаційного перемішуючого пристрою з врахуванням втрат енергії [2]

$$p_i + \rho g z_i + \frac{\rho}{2} \left(\frac{dz_i}{dt} \right)^2 + \frac{\zeta_i}{2} \rho \left(\frac{dz_i}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \frac{dz_i}{dt} + \rho S_i \left| \int_0^{z_i} \frac{dz_i}{S_i(z_i)} \right| \frac{d^2 z_i}{dt^2} = \text{const}, \quad (1)$$

де індекси ($i=1, 2$): 1 – ємність, 2 – канал пульсатора. При розробці моделі були зроблені припущення, що рідина не стискається, та значного руху рідини по осях x та y немає, тобто модель одновимірна.

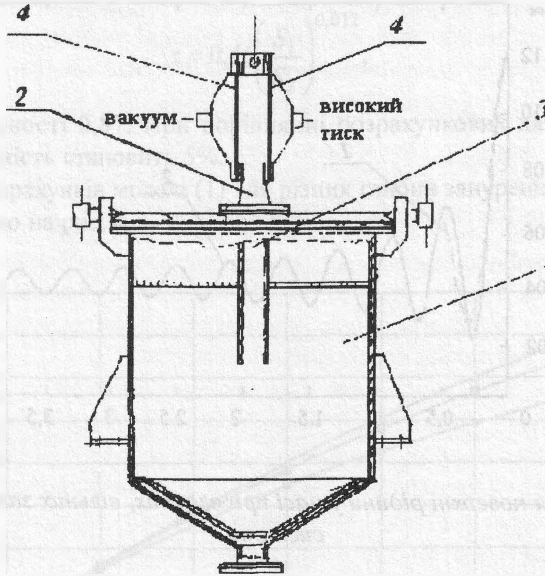


Рис. 1 Схема пневмопульсаційного перемішуючого пристрою. Позначення: 1 – ємність екстрактора; 2 – пульсатор; 3 – канал; 4 – гнучкі мембрани

Прийнято, що механічна система, котра попередньо виведена з стану рівноваги, наприклад, тим, що $Z_2(0) > z_1(0)$, починаючи з моменту $t=0$, надалі вважається наданою сама собі, тобто система не піддається впливу зовнішніх сил, що ініціюють коливальний процес. Отже, в рівнянні (1) приймається $p_i = \text{const}$ ($i=1, 2$). Для циліндричної ємності та пульсатора та за умови $S_i(z) = \text{const}$ рівняння можна привести до вигляду:

$$\frac{d^2 z_2}{dt^2} = \frac{g \frac{h(1+S_{12})}{S_{12}} - g z_2 \left(\frac{1}{S_{12}} + 1 \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2 z_2}{dt^2} \right)^2 \left(1 - \frac{1}{S_{12}^2} \right) - \frac{\zeta}{2} \left(\frac{dz_2}{dt} \right)^3 \operatorname{sign} \left(\frac{dz_2}{dt} \right) \left(1 + \frac{1}{S_{12}^2} \right)}{z_2 \left(1 - \frac{1}{S_{12}^2} \right) + \frac{h(1+S_{12})}{S_{12}^2}} \quad (2)$$

Рівняння записано з урахуванням рівняння збереження маси

$$S_1 \frac{dz_1}{dt} = S_2 \frac{dz_2}{dt} \quad (3)$$

Початкові умови:

$$z_2(0) = h_1, \quad \frac{dz_2}{dt} = 0. \quad (4)$$

Числовий розрахунок математичної моделі було виконано методом Рунге-Кутта 4-го порядку, зі змінним кроком. Результати розрахунків наведено на рис. 2 (крива – 1). Адекватність та повноту моделі було підтверджено експериментальне, рис.2, (крива – 2).

Експеримент здійснено в каналі з прозорими стінками з використанням швидкісної кінозйомки (камера СКС-1М з ширококутовим об'єктивом "Панколар").

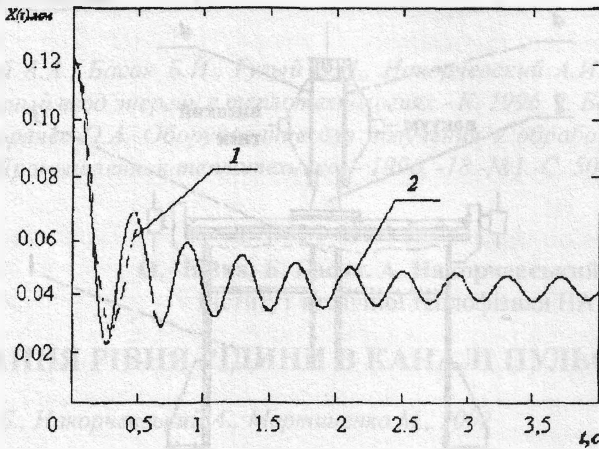


Рис.2. Динаміка рівня поверхні рідини у часі при власних, вільних загасаючих коливаннях системи

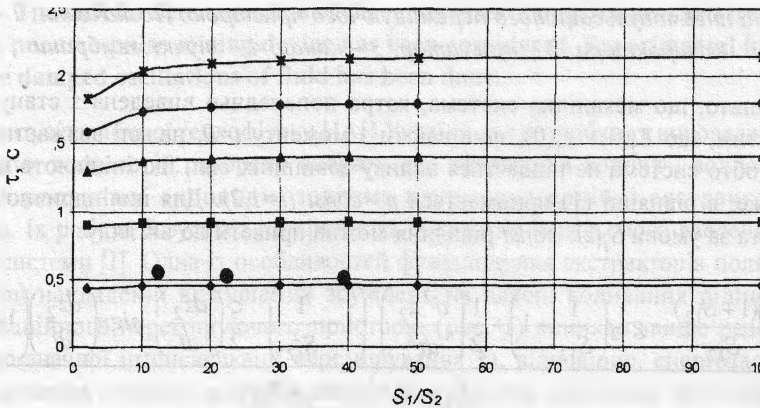


Рис.3. Залежність періоду власних вільних коливань рідини від співвідношення площі поперечного перерізу ємності та пульсатора при різній глибині h занурення пульсатора, криві: 1 - $h=0,8$ м; 2 - 0,6; 3 - 0,4; 4-0,2 і 5 - 0,04 м. Точки • - експериментальні значення періоду при $h = 0,04$ м

Модель достатньо коректно описує процеси, що відбуваються в пневмопульсаційному перемішуючому пристрої. За її допомогою було розраховано період власних вільних коливань рідини. З'ясовано, що період власних коливань системи залежить від співвідношення площі поперечного перерізу ємності та пульсатора і глибини занурення пульсатора у рідину. Для визначення залежності періоду коливань були виконані числові розрахунки, їх результати представлено на рис.3.

Для зручності застосування результатів розрахунку періоду роботи при інженерних розробках пневмопульсаційних апаратів було отримано набір апроксимуваних виразів. Наприклад, при глибині занурення $h = 0,04$ м, для якої було здійснено експеримент, отримано аналітичну апроксимацію періоду, вираженого в секундах:

$$\tau = 0,46 \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{0,012}, \quad (5)$$

при довірчій ймовірності 0,87. При порівнянні розрахункових даних з експериментом максимальна розбіжність становить 5%.

Результати розрахунків моделі (1) для різних глибин занурення каналу пульсатора в об'єм рідини наведено на рис. 4.

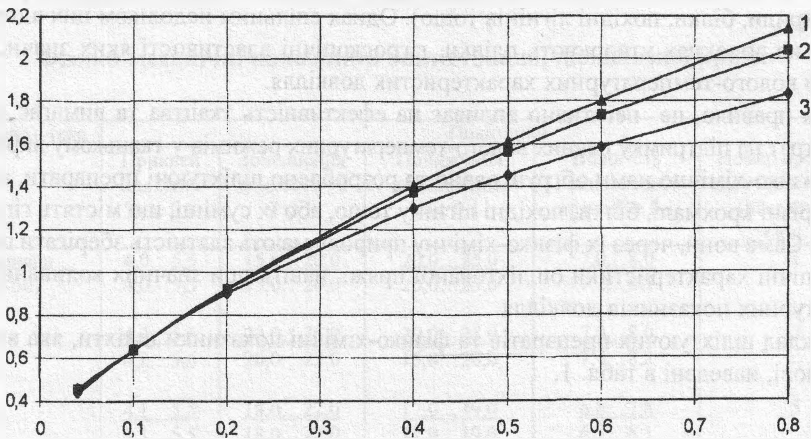


Рис.4. Залежність періоду коливань від глибини занурення при постійних значеннях S/S_2 , рівних: крива 1 - $S/S_2 = 100$; 2-10 і 3-2.

Отже, отримана модель дає змогу визначити період власних коливань системи для апарата з будь-якими геометричними характеристиками, а також розрахувати висоту занурення пульсатора так, щоб період власних коливань рідини в пульсаторі збігався з періодом підключень пульсатора до ресерверів вакууму або високого тиску.

1. Долинский А. А., Басок Б. Й., Гулый С. Й., Накорчевский А. Й., Шурчкова Ю. А. *Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях*, К. 1996. 2. Накорчевский А.И., Гаскевич Й.В., Басок Б.И. *Математическое моделирование работы пульсаторов для перемешивания металлических расплавов//Металлы*. - 1989. - №5. - С. 40-43.