

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ГАЗОРІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ

Наведено інформацію щодо динамічних моделей газорідинних систем, що підлягають впливам змінних тисків. Давление

Ключові слова: модель, гідродинаміка, тиск, деформація, жорсткість, приведення.

Information of the dynamic models of the газорідинних systems which are subject to influencing of variables of pressure.

Keywords: model, hydrodynamics, pressure, deformation, inflexibility, adduction.

Поглиблене вивчення гідродинаміки взаємодії газорідинних систем з зовнішніми впливами і збуреннями дозволяє оцінити перспективи інтенсифікації масообміну і разом з тим впливи на мікрофлору.

Останнє може мати подвійний наслідок. Для випадків накопичення біомаси мікроорганізмів в інтересах технологій є їх активація, підвищення якісних показників, збільшення виходу. Аналогічні результати очікуються і у випадках мікробіологічних технологій, за різних видів бродіння тощо.

Однак по завершенню технологічних процесів у багатьох випадках необхідно видалити мікрофлору, забезпечити її перехід в бактеріостатичний стан або навіть досягти летального ефекту.

Подібні багатопланові перспективи, тим не менш часто зорієнтовані на однакові методи обробки середовищ.

Аналіз досліджень [1–5] приводить до висновку про доцільність цілеспрямованого введення додаткових енергетичних потоків в зону утворення міжфазної поверхні в формі пульсацій, створення додаткових силових потенціальних полів, організованої гідродинаміки тощо.

Метою досліджень цього розділу є поглиблене вивчення ефектів

інтенсифікації масообміну в режимах перехідних процесів.

Розглянемо фіксований об'єм газорідинного середовища, що знаходиться в режимі безперервної аерації. Хоча таке середовище є безумовно динамічним, однак його характеристичні показники, що стосується утримувальної здатності, гідродинаміки тощо залишаються на

рівні, який можна вважати умовно стабільним. Це припущення дозволяє вважати газорідинне середовище умовно пружним тілом, відносно якого можливо застосувати методи опору матеріалів і динаміки матеріальних систем.

Розглянемо перебіг процесів в такій системі за умови зростання зовнішнього тиску (рис. 1).

Очевидно, що за умови наявності газової фази в початковому об'ємі u_1 за зростання зовнішнього тиску від початкового значення P_1 до якогось P_2 газова фаза зменшується в об'ємі до u_2 з проявом певних пружних властивостей.

За аналогією з механічними системами уявимо масив газорідинної системи як середовище, що підлягає одновісному стисканню під дією зовнішньої сили PF , де F – площа перерізу масиву. У результаті такого процесу висота шару зменшиться від величини h_1 до h_2 , а абсолютна деформація складе

$$\Delta h = h_1 - h_2. \quad (1)$$

Відношення силової дії до величини лінійної деформації середовища назовемо жорсткістю системи c

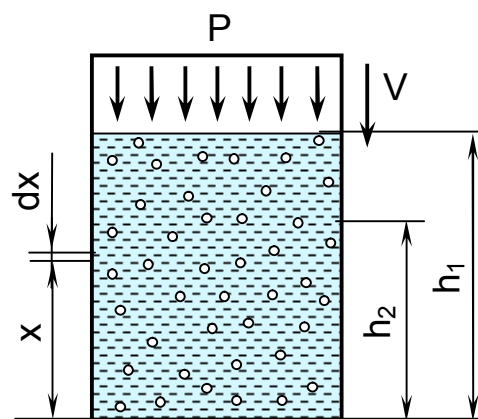


Рис. 1. Розрахункова схема до випадку впливів флуктуацій зовнішнього тиску на динаміку газорідинної системи

$$c = \frac{PF}{\Delta h} = \frac{PF}{h_1 - h_2}. \quad (2)$$

Значення h_1 та h_2 визначимо за формулами

$$h_1 = \frac{V_{\text{рід}} + u_1}{F}; \quad h_2 = \frac{V_{\text{рід}} + u_2}{F}. \quad (3)$$

Тоді маємо

$$\Delta h = \frac{V_{\text{рід}} + u_1}{F} - \frac{V_{\text{рід}} + u_2}{F}. \quad (4)$$

З умови ізотермічного процесу витікає

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{P_1}{P_2}; \quad u_2 = u_1 \frac{P_1}{P_2}. \quad (5)$$

Підстановкою (5) в рівняння (4) одержуємо

$$\Delta h = \frac{V_{\text{рід}} + u_1}{F} - \frac{V_{\text{рід}} + u_1 \frac{P_1}{P_2}}{F} = \frac{u_1(P_2 - P_1)}{P_2 F}. \quad (6)$$

Тоді з врахуванням рівняння (2) жорсткість системи дорівнюватиме

$$c = \frac{P_2^2 F^2}{u_1(P_2 - P_1)} \cdot \frac{H}{m}. \quad (7)$$

З теорії коливань відомо, що жорсткість системи є однією зі складових, що визначає її власну частоту коливань. Іншою важливою складовою виступає маса. В нашому випадку остання має розподілений по висоті шару характер. В такому випадку здійснюється перехід до приведеної маси.

Очевидно, що для випадку газорідинної системи можливо знехтувати масою газової фази і в приведеній врахувати тільки масу рідинної фази.

Визначення приведених мас здійснюється на принципі еквівалентності кінетичних енергій. В нашому випадку скористаємося способом Релея [5] для системи сталого перерізу F , що підлягає стисканню для представлення її у вигляді зібраної маси і пружного невагомго зв'язку.

На висоті x виділимо елементарну ділянку висотою dx .

Кінетична енергія виділеного елемента

$$dE_k = \frac{F\rho v_x^2}{2} dx, \quad (8)$$

де ρ – густина газорідинної суміші; v_x – швидкість руху елементарного об'єму.

Якщо швидкість руху шару на висоті h_1 позначимо через v , то при $F = \text{const}$ можливо прийняти

$$v_x = \frac{vx}{h_1}.$$

Тоді одержуємо

$$dE_k = \frac{F\rho v^2}{2l^2} x^2 dx, \quad (9)$$

а повна кінетична енергія системи

$$E_k = \int_0^{h_1} \frac{F\rho v^2}{2l^2} x^2 dx = \frac{F\rho v^2 h_1}{6} = \frac{mv^2}{6}, \quad (10)$$

де m – маса газорідинної системи.

Кінетична енергія приведеної до перерізу з висотою h_1 маси записується у формі

$$E_{k.\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}} v^2}{2}. \quad (11)$$

За умовою приведення мас $E_k = E_{k.\text{пр}}$ записуємо

$$\frac{m_{\text{пр}} v^2}{2} = \frac{mv^2}{6}. \quad (12)$$

Звідси визначаємо

$$m_{\text{пр}} = \frac{m}{3}. \quad (13)$$

Фаза стискання середовища. За наявності знайдених приведеної маси і жорсткості одержуємо можливість перейти до

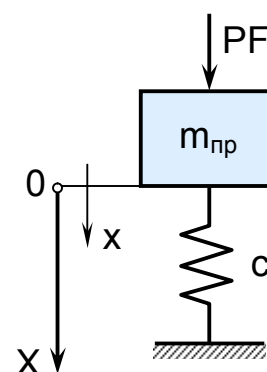


Рис. 2. Розрахункова модель системи

аналізу системи, фізична модель якої наведена на рис. 2. Математичну модель руху приведеної маси системи запишемо у вигляді

$$m_{\text{пр}}\ddot{x} = PF + m_{\text{пр}}g - cx. \quad (14)$$

При цьому на першому етапі нехтуємо силами тертя газорідинної суміші зі стінками реактора. Рушійною силою виступає результуюча сил тиску P .

Перепишемо рівняння (14) у такій формі:

$$\ddot{x} + \frac{c}{m_{\text{пр}}}x = \frac{PF}{m_{\text{пр}}} + g. \quad (15)$$

Розв'язання цього рівняння має вид:

$$x = A\sin\sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}}t + B\cos\sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}}t + \frac{PF}{c} + \frac{gm_{\text{пр}}}{c}, \quad (16)$$

де A та B – сталі інтегрування.

Для знаходження останніх задаємося початковими умовами

$$t_{(n)} = 0; \quad x_{(n)} = \frac{m_{\text{пр}}g}{c}; \quad \dot{x}_{(n)} = 0. \quad (17)$$

При цьому вважаємо, що початковий тиск є на рівні P_1 .

Зміни тиску $P = P(t)$ може мати різні закони, у тому числі і значення близьке до $P = \text{const}$, де $P = P_2 - P_1$.

Підстановкою початкових умов одержуємо:

$$\frac{m_{\text{пр}}g}{c} = B + \frac{PF}{c} + \frac{m_{\text{пр}}g}{c}; \quad (18)$$

$$B = -\frac{PF}{c}. \quad (19)$$

Для знаходження сталої інтегрування A виконаємо диференціювання рівняння (16)

$$\dot{x} = A\sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}}\cos\sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}}t - B\sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}}\sin\sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}}t, \quad (20)$$

звідки підстановкою умов (17) одержуємо $A = 0$.

Таким чином остаточно розв'язання рівняння (15) записуємо так:

$$x = \frac{PF}{c} + \frac{gm_{\text{пр}}}{c} - \frac{PF}{c} \cos \sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}} t. \quad (21)$$

Диференціюванням рівняння (21) одержуємо швидкість і прискорення приведеної маси:

$$\dot{x} = \frac{PF}{c} \sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}} \sin \sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}} t; \quad (22)$$

$$\ddot{x} = \frac{PF}{m_{\text{пр}}} \cos \sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}} t. \quad (23)$$

Одержана математична модель дозволяє встановити частоту власних коливань системи

$$f = \sqrt{\frac{c}{m_{\text{пр}}}}. \quad (24)$$

Виконавши підстановку приведеної жорсткості системи c , одержуємо:

$$f = \sqrt{\frac{P_2^2 F^2}{u_1(P_2 - P_1)m_{\text{пр}}}} = P_2 F \sqrt{\frac{1}{u_1(P_2 - P_1)m_{\text{пр}}}}. \quad (25)$$

Таким чином, частота власних коливань залежить від початкового і кінцевого тисків, приведеної маси та початкової газотримувальної здатності. Це означає, що зміна інтенсивності аерації за інших рівних умов приводить до зміни частоти власних коливань системи. Якщо цей висновок повністю відповідає фізичній суті об'єкта досліджень, то на основі, наприклад, феноменологічних міркувань складно було б прийти до висновку про те, що на параметр f впливають початкові і кінцеві тиски.

Очевидно, що значимість кожної аналітичної моделі і ступінь її наближення до реальних процесів залежить від застосованих гіпотез і припущень, покладених в її основу. Пошук методів результативних впливів на газорідинні системи засвідчує необхідність наближення частоти зовнішніх впливів до вказаного в умові (25) значення f .

Повернемося до аналізу одержаного рівняння (21), яке відображає рух площини поверхні газорідинної суміші. На рис. 3 показано складові

загального переміщення x , до якого входять дві статичні і одна динамічна складові. Максимальній деформації відповідає найбільший рівень стискання газової фази. Якщо не враховувати постійно діючу складову від сил тяжіння приведеної маси $m_{пр}$, то максимальна деформація x_{max} відповідає двом значенням деформацій від статичного навантаження.

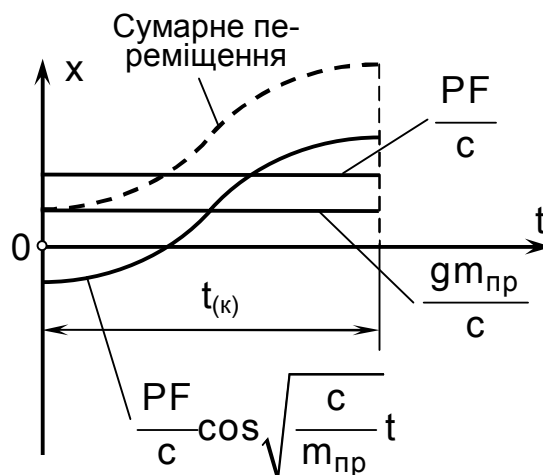


Рис. 3. Графічне представлення складових переміщення за умовою (21)

Для визначення часу досягнення максимальної деформації необхідно праву частину виразу (22) прирівняти до нуля:

$$\frac{PF}{c} \sqrt{\frac{c}{m_{пр}}} \sin \sqrt{\frac{c}{m_{пр}}} t_{(к)}^I = 0. \quad (26)$$

За умовою задачі виразу (26) відповідає співвідношення

$$\sqrt{\frac{c}{m_{пр}}} t_{(к)}^I = 2\pi. \quad (27)$$

Звідси визначаємо

$$t_{(к)}^I = 2\pi \sqrt{\frac{m_{пр}}{c}}. \quad (28)$$

Цьому часу відповідає значення

$$x_{max} = \frac{2PF}{c} + \frac{gm_{пр}}{c}. \quad (29)$$

Знайдені співвідношення дозволяють визначити максимальний силовий фактор, що відповідає максимальній деформації

$$x_{max}c = 2PF + gm_{пр}.$$

Висновки. На основі способу Релея здійснено перехід від реально-го об'єкта до його фізичної і математичної моделі з визначенням приве-

деної маси і приведеної жорсткості системи. Визначено, що за змінних тисків над середовищем в результаті перехідних процесів в ньому має місце подвійне зростання тиску, яке слід розцінювати, як фактор інтенсифікації масообміну.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Вейник А.В.* Термодинамика реальных процессов. – Минск: Наука и техника, 1991. – 576 с.
2. *Долинский А.А., Басок Б.И., Гулый И.С., Накорчевский А.И., Шурчкова Ю.А.* Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях. К.: ИТТФ НАН Украины, 1996. – С. 135.
3. *Єрмаков П.П.* Автоколивальна масообмінна апаратура харчової промисловості. Автореф. дисерт. на здобуття ступеня д.т.н. – К.: 1995. – 28 с.
4. *Романков П.Г., Фролов В.Ф.* Массообменные процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
5. *Скрипов В.П.* Метастабильная жидкость. – М.: Наука, 1972. – 312 с.

Надійшла до редколегії

2009 р.