

FEATURES OF GAS-LIQUID SYSTEMS MODELING

V. Kryvorotko

National University of Food Technologies

Key words:

*System
Environment
Gas phase
Quasi-elastic potential
Gas-hold capacity
Fermentation machine*

Article history:

Received 30.09.2014
Received in revised form
12.10.2014
Accepted 25.10.2014

Corresponding author:

V. Kryvorotko
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article presents information concerning the methods and possibilities of the energy potential of gas-liquid media. It is shown that the gas retaining ability is a factor determining the energy circulation circuit and, simultaneously, a reflection of fermentation apparatus geometry. The methods of creating dynamic environments and the definitions of the transition from gas-liquid systems to quasi-elastic ones with the possibilities of using the equations describing the dynamics of transition processes are presented. Mathematical models of gas-liquid media are proposed.

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОРІДИННИХ СИСТЕМ

В.М. Криворотько

Національний університет харчових технологій

У статті наведено інформацію, яка стосується методів і можливостей енергетичних потенціалів газорідинних середовищ. Показано, що газоутримувальна здатність системи є чинником визначення енергії циркуляційних контурів і, одночасно, відображенням геометрії бродильних апаратів. Розроблено методики створення динамічних систем середовищ, визначення переходу від газорідинних систем до квазіпружних з можливостями використання рівнянь динаміки при описі перехідних процесів. Запропоновано математичні моделі газорідинних середовищ.

Ключові слова: система, середовище, газова фаза, квазіпружний потенціал, газоутримувальна здатність, бродильний апарат.

Вступ. Існування газорідинних систем у гравітаційному полі пов'язане з наявністю двох складових енергетичних потенціалів. Один з них стосується розчиненого газу, а другий — диспергованої газової фази.

На основі аналізу побудови таких систем і їх моделювання та прогностичних феноменологічних міркувань визначено завдання цього дослідження. Оскільки удосконалення будь-якої технології ґрунтується на відповідній інформаційній

базі, то у ньому передбачено визначення впливів гідродинамічних параметрів на інтенсивність масообмінних процесів, фізичного підґрунтя в оцінці енергетичних потенціалів розчинених газів, особливостей їх використання в бродильних технологіях.

Оцінка таких потенціалів здійснюється на основі закону Генрі, а їх прояви мають місце за умов порушення термодинамічної рівноваги. Важливо, що за рахунок змінних тисків досягаються можливості впливів на енергетичні потенціали середовищ. Методикою теоретичних досліджень передбачено визначення впливів гідродинамічних параметрів на інтенсивність масообмінних процесів [1, 2].

Виклад основного матеріалу. За анаеробного бродіння здійснюється трансформація вхідного матеріального потоку розчиненого цукру під дією мікроорганізмів з утворенням етанолу і вуглекислого газу. За умови негерметичних апаратів досягається граничне за заданим тиском насичення середовища діоксидом вуглецю, а інша його кількість, що знаходиться за межами рівноважного стану, проходить режим утворення і видалення диспергованої газової фази. У потоках останньої утворюються циркуляційні контури з висхідними й опускними гілками. Очевидно, що така циркуляція є часткою енергетичного потенціалу в ланцюгу перетворень від хімічної енергії цукрів до біохімічних перетворень, утворення енергії міжфазової поверхні, кінетичної енергії циркуляційних контурів і, нарешті, до енергії виходу газової фази з рідинної [3, 4, 5].

За створення загальної фізичної моделі названої сукупності трансформацій приймалися такі припущення:

- вважається, що внаслідок гідростатичного тиску і, відповідно до закону Генрі, в бродильних апаратах існує повисотна нерівномірність концентрацій розчиненого CO_2 ;

- вважається, що швидкість спливання диспергованої газової фази визначається на основі принципу суперпозиції сумою відносної швидкості спливання бульбашок і швидкості рідинної фази в циркуляційних контурах;

- утримувальна здатність по газовій фазі визначає величину міжфазової поверхні та інтенсивність процесів масообміну;

- вважається, що енергетичний потенціал газонасиченого середовища визначається з рівняння Клайперона-Менделєєва;

- архімедові сили пропорційні об'ємам бульбашок диспергованої газової фази, а сили опору, що діють за їх спливання, пропорційні квадратам швидкостей;

- наявність диспергованої газової фази в рідинній дає змогу в цілому оцінювати газорідинні середовища пружними і такими, до яких можливим є застосування принципу Релея;

- визнання газорідинних середовищ пружними системами дозволяє в моделюванні їх динаміки застосовувати метод Лагранжа-Даламбера.

У розрахункових системах, які стосуються пружних і квазіпружних систем у коливальних процесах, наявні приведені маси, які визначаються на основі принципу еквівалентності кінетичних енергій. Для випадку розподіленої маси газорідинної системи скористаємося принципом Релея і визначимо її приведену масу:

$$m_{\text{пр}} = m/3 . \quad (1)$$

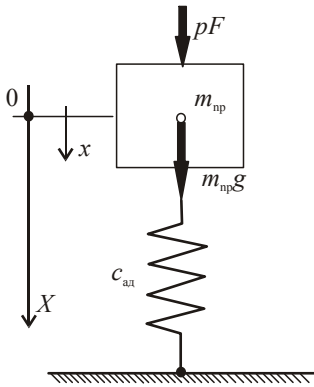


Рис. 1. Розрахункова модель системи

При визначених приведеній масі і квазіжорсткості системи одержуємо можливість перейти до її розрахункової моделі (рис. 1). Розглядаючи термодинамічні умови, слід відмітити, що перехід від ізотермічного процесу до адиабатного супроводжується різними числовими значеннями жорсткостей з кратністю, що вкладається у 1,5—2 одиниці. Очевидно, що такий результат є очікуваним, однак важливим є те, що за прийнятих фізичних параметрів в обох випадках жорсткості є сталими величинами. Окрім того, варто виокремити важливий і принциповий факт, який стосується можливості визначення частоти власних коливань f квазіпружної системи:

$$f = \sqrt{c/m_{np}}, \quad c^{-1}. \quad (2)$$

Це означає, що досягається можливість реалізації пульсаційних впливів у квазіпружних системах з наближенням до резонансних явищ. Оскільки співвідношення жорсткості і маси визначає частоту власних коливань, то це надає можливість вказати на параметри впливу з точки зору інтересів оцінки системи в цілому. До таких параметрів впливу відносяться різниця і співвідношення тисків, геометрія апарата й утримувальна здатність. Останнє означає вплив швидкості генерування діоксиду вуглецю в середовищі і можливість впливу за рахунок рециркуляційного повернення CO_2 . Таке повернення разом з продовженням генерування діоксиду вуглецю в системі може забезпечувати різні значення утримувальної здатності у бік їх збільшення незалежно від швидкості зброджування середовища.

Для поглибленої оцінки впливів утримувальної здатності звернемося до аналізу системи, математичне відображення якої записуємо у формі рівняння:

$$m_{np} \ddot{x} = F_{ан} p_2 + m_{np} g - c_{ад} x. \quad (3)$$

Перепишемо цю умову у формі, придатній до інтегрування:

$$\ddot{x} + \frac{c_{ад}}{m_{np}} x = \frac{F_{ан} p_2}{m_{np}} + g. \quad (4)$$

У результаті отримано однорідне диференціальне рівняння другого порядку, розв'язання якого залежить від представлення параметрів його правої частини. У першому наближенні будемо вважати, що перехід тиску в системі від значення p_1 до p_2 здійснюється миттєво. За таких умов рівняння (4) визначається як лінійне, а його розв'язання визначається коренями його характеристичного рівняння:

$$r^2 + \frac{c_{ад}}{m_{np}} = 0. \quad (5)$$

Оскільки корені останньої умови є уявними

$$r_{1,2} = \pm i \sqrt{c_{ад}/m_{np}}, \quad (6)$$

то розв'язок диференціального рівняння (4) має такий вигляд:

$$x = A \sin \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \tau + B \cos \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \tau + \frac{F_{ап.} p_2}{c_{ад.}} + \frac{g m_{пр}}{c_{ад.}}, \quad (7)$$

де сталі інтегрування A та B визначаються за початкових умов:

$$\tau_{(n)} = 0; \quad x_{(n)} = \frac{F_{ап.} p_1}{c_{ад.}} + \frac{g m_{пр}}{c_{ад.}}; \quad \dot{x}_{(n)} = 0. \quad (8)$$

Така система оцінюється як попередньо навантажена тиском p_1 і силою тяжіння. Підстановка початкових умов у рівняння (7) дозволяє записати:

$$\frac{F_{ап.} p_1}{c_{ад.}} + \frac{g m_{пр}}{c_{ад.}} = B + \frac{F_{ап.} p_2}{c_{ад.}} + \frac{g m_{пр}}{c_{ад.}} \quad (9)$$

або

$$B = \frac{F_{ап.} p_1}{c_{ад.}} - \frac{F_{ап.} p_2}{c_{ад.}}. \quad (10)$$

Для визначення сталої інтегрування A виконаємо диференціювання рівняння (7):

$$\dot{x} = A \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \cos \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \tau - B \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \sin \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \tau, \quad (11)$$

тоді

$$A \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} = 0; \quad A = 0. \quad (12)$$

Підстановка сталих інтегрування дає змогу записати:

$$x = \frac{F_{ап.} p_2 + g m_{пр}}{c_{ад.}} + F_{ап.} \frac{p_1 - p_2}{c_{ад.}} \cos \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \tau. \quad (13)$$

При цьому швидкість деформування системи:

$$\dot{x} = F_{ап.} \frac{p_2 - p_1}{c_{ад.}} \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \sin \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \tau = \frac{(p_2 - p_1) F_{ап.}}{\sqrt{m_{пр} c_{ад.}}} \sin \sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \tau. \quad (14)$$

З форми запису останньої умови видно, що деформація середовища за показником швидкості відповідає синусоїдальному закону і максимуму швидкості відповідає значення аргумента:

$$\sqrt{\frac{c_{ад.}}{m_{пр}}} \tau_{\max} = \frac{\pi}{2}. \quad (15)$$

Звідси час досягнення максимальної швидкості визначається за формулою:

$$\tau_{\max} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m_{пр}}{c_{ад.}}}. \quad (16)$$

Разом з тим прирівнювання (14) до нуля дозволяє знайти час досягнення екстремуму в переміщенні x :

$$\tau_{\text{екс.}} = \pi \sqrt{\frac{m_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}}}. \quad (17)$$

Максимальне переміщення приведеної маси визначається за формулою:

$$\begin{aligned} x_{\text{екс.}} &= \frac{F_{\text{ап.}} p_2 + gm_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}} + \frac{(p_1 - p_2) F_{\text{ап.}}}{c_{\text{ад.}}} \cos \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \pi \sqrt{\frac{m_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}}} = \\ &= \frac{F_{\text{ап.}} p_2 + gm_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}} + \frac{F_{\text{ап.}} (p_1 - p_2)}{c_{\text{ад.}}} \cos \pi = \\ &= \frac{F_{\text{ап.}} p_2 + gm_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}} + \frac{F_{\text{ап.}} (p_2 - p_1)}{c_{\text{ад.}}} = \frac{2F_{\text{ап.}} p_2 + gm_{\text{пр}} - F_{\text{ап.}} p_1}{c_{\text{ад.}}}. \end{aligned} \quad (18)$$

Підстановка значення квазіжорсткості дозволяє записати:

$$x_{\text{екс.}} = \frac{(2F_{\text{ап.}} p_2 + gm_{\text{пр}} - F_{\text{ап.}} p_1) u \left(1 - k_a \sqrt{\frac{p_1}{p_2}} \right)}{(p_2 - p_1) F_{\text{ап.}}^2}. \quad (19)$$

За умови нехтування впливом диспергованої газової фази на гідростатичний тиск надалі будемо вважати, що він визначається висотною координатою тільки рідинної фази:

$$p_{\text{г.с.}} = \rho g H_{\text{рід.}}. \quad (20)$$

Звідси впливає можливість визначення тиску в кожному з перерізів середовища на рівні $H_{\text{рід.}}$:

$$p_H = p_2 + \rho g H_{\text{рід.}}. \quad (21)$$

Оскільки гідростатичний тиск у кожному фізичному шарі залишається незмінним у режимі деформацій газорідинних середовищ, то це означає, що загальні зміни в них породжують зміну зовнішнього тиску.

Раніше було зазначено, що в запропонованій моделі прийнята умова миттєвого переходу в зовнішньому тиску від значення p_1 до p_2 . Практична її реалізація можлива за двох умов, які стосуються загального об'єму надрідинної фази в апараті і можливостей швидкоплинного подавання стиснутого газу з підтриманням стабілізованого тиску об'єму змінної величини. Серед діючого обладнання до названих умов відносяться бродильні апарати (акратофори) у виробництві шампанських вин. Об'єм вільної фази в них наближається до 1...3 % від загального об'єму апарата, а наявність, наприклад, ресивера зі стиснутим CO_2 може забезпечити умову швидкоплинної стабілізації тиску на величині p_2 . Очевидно, що подібні системи можуть забезпечувати різні варіації фізичних впливів. Так, збільшення тиску означає зростання розчинності газу відповідно до закону Генрі, адже утворення диспергованої газової фази за бродіння відбувається на межі її рівноваги з

розчиненим CO₂ у рідинній фазі, а тому можливим є порушення такого стану. Рівень порушення може бути таким, який приведе до колапсу бульбашок газової фази, що є фізичним аналогом кавітаційних ефектів. Витримка середовища під досягнутим тиском p_2 може бути цілком запланованою і такою, яка залежить від очікуваних технологічних і мікробіологічних ефектів. Однак витримка зі стабілізованим тиском у системі можлива лише після завершення перехідного коливального процесу в квазіпружній системі. Час перебігу перехідного процесу в значній мірі визначається дисипативними властивостями системи, а також законами силових впливів на неї. Очевидно, що тиск p_2 може бути представленим лінійною або нелінійною функцією часу, утримувальної здатності, фізико-хімічних параметрів середовищ тощо. Якщо тиск p_2 вважати лінійною функцією часу, то умову (3) трансформуємо до форми:

$$m_{\text{пр}} \ddot{x} = F_{\text{ан.}} p_2(\tau) + m_{\text{пр}} g - c_{\text{ад.}} x, \quad (22)$$

де $p_2(\tau)$ — лінійна функція у формі $p_2 = b_0 \tau$ або $p_2 = b_0 \tau + b_1$; $[b_0] = \text{Па/с}$; $[b_1] = \text{Па}$ коефіцієнти із зазначеними розмірностями.

Відповідною підстановкою отримуємо:

$$\ddot{x} + \frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}} x = F_{\text{ан.}} \frac{b_0}{m_{\text{пр}}} \tau + F_{\text{ан.}} \frac{b_1}{m_{\text{пр}}} + g. \quad (23)$$

Тоді

$$x = A_1 \sin \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau + B_1 \cos \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau + \frac{F_{\text{ан.}} b_1}{c_{\text{ад.}}} + \frac{m_{\text{пр}} g}{c_{\text{ад.}}} + \frac{F_{\text{ан.}} b_0 \tau}{c_{\text{ад.}}}. \quad (24)$$

Нехай початковим умовам також відповідає рівняння (8). За їх використання знайдемо сталі інтегрування A_1 та B_1 :

$$\frac{F_{\text{ан.}} p_1}{c_{\text{ад.}}} + \frac{m_{\text{пр}} g}{c_{\text{ад.}}} = B_1 + \frac{F_{\text{ан.}} b_1}{c_{\text{ад.}}} + \frac{m_{\text{пр}} g}{c_{\text{ад.}}}. \quad B_1 = \frac{F_{\text{ан.}} p_1}{c_{\text{ад.}}} - \frac{F_{\text{ан.}} b_1}{c_{\text{ад.}}} = \frac{F_{\text{ан.}}}{c_{\text{ад.}}} (p_1 - b_1). \quad (25)$$

Диференціювання (24) дозволяє записати:

$$\dot{x} = A_1 \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \cos \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau - B_1 \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \sin \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau + \frac{F_{\text{ан.}} b_0}{c_{\text{ад.}}}. \quad (26)$$

Тоді

$$0 = A_1 \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} + \frac{F_{\text{ан.}} b_0}{c_{\text{ад.}}}; \quad A_1 = -\frac{F_{\text{ан.}} b_0}{c_{\text{ад.}}} \sqrt{\frac{m_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}}}. \quad (27)$$

Підстановка значень сталих інтегрування дає змогу записати:

$$x = \frac{F_{\text{ан.}}}{c_{\text{ад.}}} (p_1 - b_1) \cos \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau - \frac{F_{\text{ан.}} b_0}{c_{\text{ад.}}} \sqrt{\frac{m_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}}} \sin \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau + \frac{F_{\text{ан.}} b_1}{c_{\text{ад.}}} + \frac{m_{\text{пр}} g}{c_{\text{ад.}}} + \frac{F_{\text{ан.}} b_0 \tau}{c_{\text{ад.}}}. \quad (28)$$

Відповідно до обраної фізичної і математичної моделі визначимо силові фактори, що стосуються квазіпружного елемента:

$$p_{\text{пр}} = c_{\text{ад.}} x = F_{\text{ап.}} (p_1 - b_1) \cos \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau - F_{\text{ап.}} b_0 \sqrt{\frac{m_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}}} \sin \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau + F_{\text{ап.}} b_1 + m_{\text{пр}} g + F_{\text{ап.}} b_0 \tau. \quad (29)$$

Величина $p_{\text{пр}}$ (29) в останній умові має розмірність сили і є математичною моделлю процесу. Вона стосується інерційних властивостей системи, хоча їх можливо врахувати через прискорення диференціюванням (26):

$$\ddot{x} = A_1 \frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}} \sin \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau - B_1 \frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}} \cos \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau + \frac{F_{\text{ап.}} b_0}{c_{\text{ад.}}}. \quad (30)$$

Тоді діючі сили інерції в системі відображаються залежністю:

$$p_i = m_{\text{пр}} \ddot{x} = -A_1 c_{\text{ад.}} \sin \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau - B_1 c_{\text{ад.}} \cos \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau + \frac{m_{\text{пр}} F_{\text{ап.}} b_0}{c_{\text{ад.}}}. \quad (31)$$

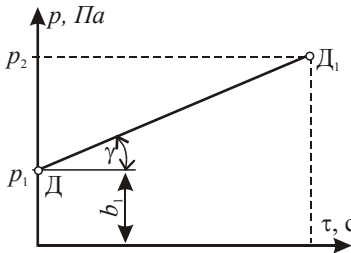


Рис. 2. Графік закону зміни тиску у часі

Відмінність виразу (31) від (29) пояснюється тим, що в останньому випадку відсутні статичні складові навантажень.

Вплив на систему змінного тиску $p_2 = p_2(\tau)$ потребує певного обмеження через величину $p_2 = p_{\text{max}}$ або через час τ .

Для можливості порівнянь припустимо, що максимальні значення P_2 в обох випадках збігаються. Окрім

того, припустимо, що час досягнення $p_2 = p_{2\text{max}}$ збігається з часом досягнення

екстремуму першого випадку, у якому $\tau_{\text{екс.}} = \pi \sqrt{\frac{m_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}}}$. Тоді співвідношення, з

яких маємо визначити параметри b_0 і b_1 , знайдемо із залежностей, відображених на графіку $p_2 = p_2(\tau)$ на рис. 2.

Положення точки D_1 на графіку визначаємо перетином лінії тиску p_2 і визначеного часу $\tau_{\text{екс.}}$. Оскільки зміни тиску починаються від величини p_1 , то положення точки D на ординаті визначає величину b_1 . Таким чином $b_1 = p_1$. Тоді: $\text{tg} \gamma = (p_2 - p_1) / \tau_{\text{екс.}}$, звідси $b_0 = \text{tg} \gamma = (p_2 - p_1) / \tau_{\text{екс.}}$.

За визначених величин b_0 та b_1 умова (28) записується у формі:

$$x = -\frac{F_{\text{ап.}} (p_1 - p_2)}{c_{\text{ад.}} \tau_{\text{екс.}}} \sqrt{\frac{m_{\text{пр}}}{c_{\text{ад.}}}} \sin \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau + \frac{F_{\text{ап.}} p_1}{c_{\text{ад.}}} + \frac{m_{\text{пр}} g}{c_{\text{ад.}}} + \frac{F_{\text{ап.}} (p_2 - p_1)}{c_{\text{ад.}} \tau_{\text{екс.}}} \tau. \quad (32)$$

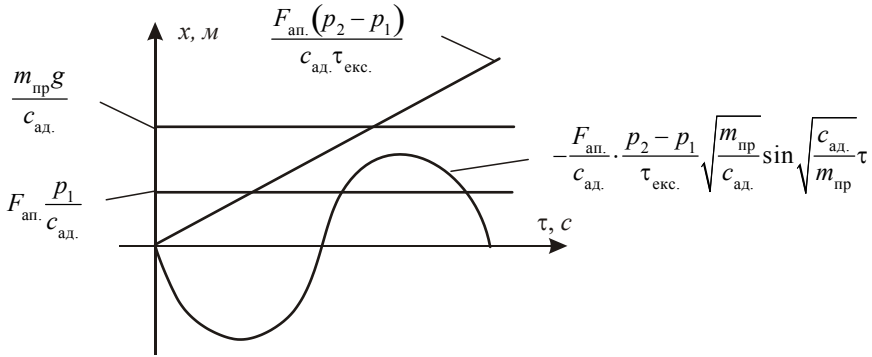


Рис. 3. Графік складових деформації квазіпружного середовища

Таким чином, за умови рівності $b_1 = p_1$ з рівняння (28) виключається косинусоїдальна складова.

Відповідно до залежності (32) на рис. 3 наведено складові, які відображують деформацію квазіпружного середовища.

На рис. 3 також показані дві статичні та дві динамічні складові, при цьому досягнення екстремальної деформації настає суттєво пізніше, ніж у попередньому випадку. Для знаходження часу її досягнення запишемо:

$$\dot{x} = -\frac{F_{\text{ап.}}}{c_{\text{ад.}}} \cdot \frac{p_1 - p_2}{\tau'_{\text{екс.}}} \cos \sqrt{\frac{c_{\text{ад.}}}{m_{\text{пр}}}} \tau'_{\text{екс.}} + \frac{F_{\text{ап.}}(p_2 - p_1)}{c_{\text{ад.}} \tau'_{\text{екс.}}} = 0. \quad (33)$$

Розв'язання цієї умови відносно $\tau'_{\text{екс.}}$ дає відповідь на питання стосовно часу досягнення максимальної деформації середовища.

Важливим серед можливих відгуків системи на зростання тиску в газовому середовищі, як відмічалось раніше, буде прояв у формі кавітації. Очевидно, що підвищення тиску в системі супроводжується підвищенням розчинності CO_2 і максимальному насиченню при бродінні відповідає нижній шар середовища. Для нього запишемо:

$$c_{\text{нmax}} = k_{\text{Г}}(p_1 + \rho g H), \quad (34)$$

де $k_{\text{Г}}$ — константа Генрі.

Виконання швидкоплинного розчинення диспергованої газової фази можливе за умови:

$$c_{\text{нmax}} \leq c_{\text{нкав.}}, \quad (35)$$

$$\text{або} \quad k_{\text{Г}}(P_2 + \rho g H) > k_{\text{Г}}(P_1 + \rho g H), \quad (36)$$

де $c_{\text{нкав.}}$ відповідає насиченню кавітації.

Висновки

Оскільки генерування газової фази здійснюється у самому середовищі, то це означає, що газова і рідинна фази за показником вмісту CO_2 знаходяться у стані термодинамічної рівноваги, а тому будь-яке збільшення тиску в системі

призводить спочатку до припинення виділення CO_2 , а потім до зворотного розчинення диспергованої газової фази. Умовою перебігу таких процесів є підтримання ризику p_2 у газовому надрідинному просторі. Подальше його зниження до величини p_1 зі швидкістю, яка переважає швидкість деформації середовища, призводить до ефекту розширення стиснутої газової фази і зростання рівня. Наступний етап зростання тиску призведе до повторної реакції середовища.

Література

1. *Піддубний В.А.* Наукові основи і апаратурне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв: дис. ... докт. техн. наук: 05.18.12 / Піддубний Володимир Антонович; НУХТ. — К., 2007. — 421 с.
2. *Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях:* Монографія / А.І. Соколенко, А.А. Мазаракі, В.А. Піддубний та ін. — К.: Фенікс, 2012. — 484 с.
3. *Дейч М.Г.* Газодинамика двухфазных сред / М.Г. Дейч. — М.: Наука, 1968. — 424 с.
4. *Асланов С.К.* Гидродинамическая неустойчивость и математическое моделирование процесса механического разрушения жидкой поверхности / Вестник ОДУ. — Одесса, 2001. — Т. 5, вып. 3. — С. 94—102.
5. *Нигматулин Р.И.* Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматулин. — М.: Наука, 1987. — 464 с.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ

В.М. Криворотько

Национальный университет пищевых технологий

В статье приведена информация, которая касается методов и возможностей энергетических потенциалов газожидкостных сред. Показано, что газодерживающая способность системы является фактором определения энергии циркуляционных контуров и, одновременно, отражением геометрии бродильных аппаратов. Предложены методики создания динамических систем сред, определения перехода от газожидкостных систем в квазиупругие с возможностями использования уравнений динамики при описании переходных процессов. Предложены математические модели газожидкостных сред.

Ключевые слова: *система, среда, газовая фаза, квазиупругий потенциал, газодерживающая способность, бродильный аппарат.*