

УДК 621.8

А.І. Соколенко, д.т.н.,

О.А. Білик, к. т. н.,

В.М.Криворотько, к.т.н.,

І.Ф. Максименко

ЕНЕРГЕТИЧНІ НАКОПИЧУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ НА ОСНОВІ РОЗЧИНЕНИХ У РІДИННИХ ФАЗАХ ГАЗІВ

Використання енергетичних накопичувальних пристроїв на основі розчинених газів як носіїв потенціальної енергії має відносно недавню історію [1, 2].

Завданням цього дослідження визначено встановлення співвідношень, які стосуються потенціалів газонасичених середовищ.

Розчинність газів у водному середовищі підлягає закону Генрі за тисків, які відповідають термодинамічними параметрами харчових технологій. У відповідності до закону Генрі розчинність газів за інших рівних умов пропорційна їх парціальним тиском

$$c_H = kP, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, відомий як константа Генрі, що залежить від фізико-хімічних властивостей рідинної і газової фаз; P – парціальний тиск газу в суміші.

Коефіцієнт пропорційності k в значній мірі відображує вплив температури середовища на розчинність газів. В таблиці наведено дані, що стосуються розчинності газів за різних температур.

З порівняльної таблиці видно, що за інших рівних умов за показником розчинності суттєву перевагу має діоксиду вуглецю. Ця важлива перевага значно підсилюється тією обставиною, що CO_2 є інертним газом, а тому його застосування можливе в технологіях, які стосуються широких гами сировини рослинного і тваринного походження з високим вологовмістом. Окрім того, в тій частині технологій, в якій використовуються процеси бродіння, існує можливість реалізації накопичувального енергетич-

ного потенціалу синтезованого в самій системі CO_2 .

Розчинність у воді газів, $\text{м}^3/\text{м}^3$ за парціального тиску 0,1 МПа

Газ	Температура, °C							
	0	5	10	15	20	25	30	40
Азот	0,0235	0,0209	0,0186	0,0168	0,0154	0,0143	0,0134	0,0118
Кисень	0,0489	0,0429	0,0380	0,0341	0,0310	0,0283	0,0264	0,0231
Водень	0,0215	0,0204	0,0195	0,0198	0,0182	0,0175	0,0170	0,0164
CO_2	1,713	1,425	1,194	1,019	0,878	0,759	0,665	0,5300

Останнє в значній мірі стосується спиртової галузі, пивоварного виробництва, первинного виноробства та вторинного бродіння у виробництві шампанського, за культивуванням мікроорганізмів – цукроміцетів тощо. Створення на основі розчинених газів енергетичних накопичувачів можливе за штучного одержання різних рівнів термодинамічної рівноваги. Важливо, що закон Генрі дає вказівку на їх досягнення в кількісних співвідношеннях. Підвищення тиску CO_2 в системі з сировиною підвищеної вологості означає зростаючий рівень насичення вологи і зростаючий енергетичний потенціал. Досліди, які стосувалися ягід винограду, подрібнених яблук, бурякової стружки тощо привели до однозначного висновку про високу ефективність швидкоплинного використання накопичувального потенціалу для руйнування структур названих сировинних потоків на міжклітинному і клітинному рівнях [1, 2].

Фізичне підґрунтя технологій різкого зниження тисків (ТРЗТ) відрізняється від фізичних основ дискретно-імпульсних технологій, хоча за структурною побудовою в одержанні енергетичних імпульсних впливів вони подібні. В обох випадках передбачається накопичення енергетичного потенціалу з наступним різким переведенням системи в метастабільний стан з швидкоплинним переходом до нового стану термодинамічної

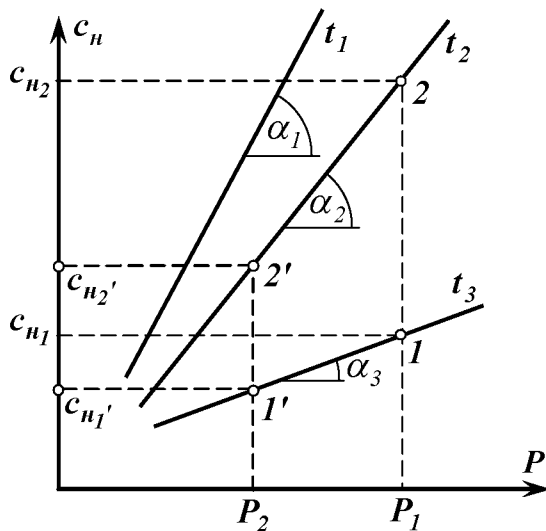


Рис. 1. Графік залежностей $c_n = c_n(P)$

рівноваги. Аналіз енергетичних потенціалів порівнюваних систем приводить до висновку про їх еквівалентність [3, 4] і наближення до потужностей, що реалізується в НВЧ-технологіях.

На рис. 1 наведено загальний вигляд залежностей $c_n = c_n(k, P)$. При цьому маємо $t_1 < t_2 < t_3$ і

$$\alpha_2 = \arctg \frac{c_{n2} - c_{n2'}}{P_1 - P_2}; \quad (2)$$

$$\alpha_3 = \arctg \frac{c_{n1} - c_{n1'}}{P_1 - P_2}; \quad (3)$$

Відмінністю ТРЗТ-методів порівняно з методом дискретно-імпульсних технологій є те, що в першому випадку накопичуваний енергетичний потенціал зростає зі зменшенням температури середовища за інших рівних умов. Створення енергетичного імпульсу супроводжується активним утворенням газової фази в рідинному середовищі, зростанням об'єму вологовмісткого середовища. За умови суцільного газорідинного середовища, що знаходиться в режимі зброджування, після досягнення стану насичення за показником c_n починається утворення газової фази у формі бульбашок і досягається можливість зростання тиску в надрідин-

ному газовому просторі. Таке зростання в свою чергу підвищує максимальну розчинність і система безперервно змінюється зі зростаючим рівнем енергетичного потенціалу. При цьому у зв'язку з наявністю гідростатичного тиску має місце повисотна нерівномірність середовища за показниками c_H і кількістю розчиненого CO_2 . Одночасно це означає, що і енергетичний потенціал розчиненого

газу зростає зі зростанням гідростатичного тиску. Вказана особливість призводить до висновку про можливість інтенсифікації процесів масообміну, гомогенізації, бродіння тощо за рахунок використання вказаного нерівномірного потенціалу. Для цього достатньо організувати вертикальну циркуляцію суміші за рахунок тієї ж нерівномірності потенціалів.

Виконаємо оцінку енергетичного потенціалу середовища, в якому безперервно синтезується CO_2 . На рисунку 2 наведено схему такого випадку апарата і процесу. Нехай висота рідинного шару складає величину H і на деякій висоті x виділимо елементарний шар товщиною dx . Останньому відповідає величина насичення $c_{H(x)}$

$$c_{H(x)} = kP_x = k(P_0 + \rho gx). \quad (4)$$

Кількість розчиненого CO_2 в шарі товщиною dx знайдемо за формулою

$$dG_{\text{CO}_2} = Fk(P_0 + \rho gx)dx = FkP_0dx + Fk\rho gxdx, \quad (5)$$

де F – площа поперечного перерізу апарата.

Загальна кількість CO_2 в середовищі становитиме

$$G_{\text{CO}_2} = \int_0^H (FkP_0 + Fk\rho gx)dx = Vk \left(P_0 + \rho g \frac{H}{2} \right), \quad (6)$$

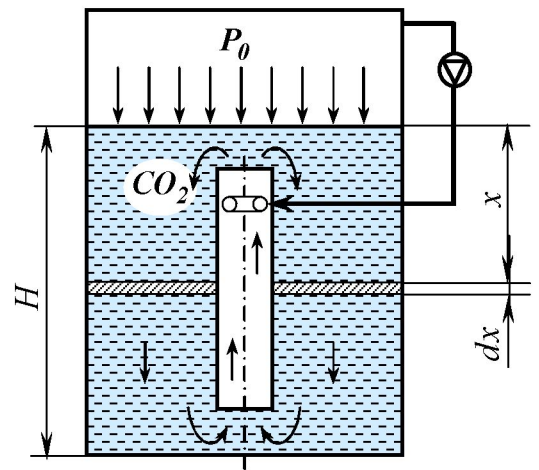


Рис. 2. Розрахункова схема до оцінки енергетичного потенціалу газорідинної системи

В оцінці енергетичного потенціалу скористаємося наступним міркуванням. Рідинну фазу будемо розглядати як середовище, що утримує в собі і дозволяє накопичувати газову фазу під підвищеним тиском, середня величина якого складає

$$P_{\text{сеп}} = P_0 + \rho g \frac{H}{2}.$$

Очевидно, що реалізації вказаного потенціалу відповідає зниження тиску в системі і виділення газової фази з розширенням до нового тиску P . Загальний енергетичний потенціал системи визначимо як для еквівалентної системи, в якій знайдена кількість газу G_{CO_2} знаходиться під тиском $P_{\text{сеп}}$, а зниження P_0 здійснюється до величини P . Тоді для системи в новому стані будемо мати новий середній тиск

$$P'_{\text{сеп}} = P + \rho g \frac{H}{2}. \quad (7)$$

При цьому процес розширення газової фази будемо вважати адіабатним, а робота розширення її становитиме

$$L = \frac{P_{\text{сеп}} V_1}{k' - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k'-1} \right], \quad (8)$$

де V_1 – початковий об'єм газової фази, що утворилася в результаті падіння тиску від P_0 до P ; V_2 – об'єм газової фази, що утворилася і розширилася до тиску P ; k' – показник адіабати.

В розчиненому стані за нових умов залишиться газової фази

$$G'_{\text{CO}_2} = FHk \left(P + \rho g \frac{H}{2} \right), \quad (9)$$

а утвориться газової фази в кількості

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{CO}_2} = G_{\text{CO}_2} - G'_{\text{CO}_2} &= FHkP_0 - FHk\rho g \frac{H}{2} - \\ &- FHkP - FHk\rho g \frac{H}{2} = FHk(P_0 - P), \end{aligned} \quad (10)$$

Позначивши $P_0 - P = \Delta P$, одержуємо

$$\Delta G_{\text{CO}_2} = FHk\Delta P = Vk\Delta P.$$

Знайдемо умовам відповідає

$$V_1 = \frac{\Delta G_{\text{CO}_2}}{P_{\text{сеп}}} RT, \quad (11)$$

де R – універсальна газова стала; T – абсолютна температура середовища.

Кінцевий об'єм V_2 газової фази після розширення знайдемо із співвідношень:

$$\frac{P}{P_{\text{сеп}}} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k'}, \quad (12)$$

$$V_2 = \frac{V_1}{\sqrt[k']{\frac{P}{P_{\text{сеп}}}}}, \quad (13)$$

Тоді

$$L = \frac{\Delta G_{\text{CO}_2} RT}{k' - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k'-1} \right] = \frac{\Delta G_{\text{CO}_2} RT}{k' - 1} \left[1 - \left(\sqrt[k']{\frac{P}{P_{\text{сеп}}}} \right)^{k'-1} \right]. \quad (14)$$

З числа параметрів, які входять до останнього рівняння температура середовища T має подвійний вплив. З одного боку робота розширення газової фази пропорційна температурі, але разом з тим зростання температури зменшує константу Генрі і сталу насичення c_n . При цьому залежність $c_n = c_n(T)$ є нелінійною функцією. Підстановкою ΔG_{CO_2} одержуємо

$$L = \frac{Vk(P_0 - P)RT}{k' - 1} \left[1 - \left(\sqrt[k']{\frac{P}{P_{\text{сеп}}}} \right)^{k'-1} \right]. \quad (15)$$

Режим зброджування середовищ може здійснюватися як періодичний або безперервний процес. В обох випадках має місце безперервне виділення газової фази, яка у формі бульбашок спливає під дією Архімедових сил у над рідинний простір, створюючи надлишковий тиск газової

фази.

Динаміка зброджування програмується концентрацією живильних для мікроорганізмів речовин, їх концентрацією, температурою середовища тощо. При цьому важливе значення має висота шару середовища оскільки вона визначає величину гідростатичного тиску і повисотну нерівномірність енергетичного потенціалу розчиненого CO_2 . Така нерівномірність еквідістантно відображує гідростатичний тиск і може бути використана, як рушійний фактор для перемішування і гомогенізації середовища. Останнє важливе в процесах безперервного зброджування і досягається рівномірністю розосередження в середовищі як живильних компонентів, так і мікробіологічних клітин. Проте перемішування не повинно бути надто активним з точки зору інтересів обмеження енергетичних витрат і одночасно технологічних показників і мікробіологічного забезпечення. Для можливості використання нерівномірності в розподілі енергетичного потенціалу розчиненого газу пропонується бродильний апарат устаткувати циркуляційною трубою з симетричним її розміщенням (рис. 2) і зі встановленням в ній газорозподільного пристрою в верхній частині. Газорозподільний пристрій з'єднано з газовим простором апарату трубопроводом з газодувкою. Призначенням газорозподільного пристрою і газодувки є короткочасне створення в верхній частині циркуляційної труби газорідинної суміші, наслідком існування якої буде початок циркуляції. Оскільки через нижній зріз циркуляційної труби підводиться середовище зі збільшеною кількістю розчиненого CO_2 , яке відповідає величині гідростатичного тиску, то з переміщенням по вертикалі і у зв'язку з падінням тиску умова рівноваги по рівню розчинності порушується і діоксид вуглецю виділяється з формуванням газової фази і створенням рушійного потенціалу циркуляції. Від цього моменту циркуляційний контур буде існувати за рахунок використання нерівномірного потенціалу розчиненого газу і примусова подача CO_2 вентилятором може бути припинена. Рівень циркуляції при цьому встановлюється автоматично в

залежності від параметрів системи. Енергетичний потенціал системи поступово зменшується, але в цьому випадку він є відновлюваним, що власне, і забезпечує стабілізацію гідродинаміки середовища.

Висновки. 1. Матеріальні потоки харчових виробництв, відлік яких починається від вхідних сировинних потоків, є носіями хімічної, теплової, кінетичної, потенціальної та інших видів енергії. особлива роль при цьому належить хімічній енергії органічних сполук, максимальна можлива частка якої повинна бути збережена і увійти до складу кінцевої продукції у вигляді такої характеристики останньої, як калорійність.

2. Розроблено теорію створення енергетичних накопичувальних пристроїв на основі розчинених у рідинній фракції газів. Показано існування концентраційного градієнту по розчиненому діоксиду вуглецю в циліндро-конічних апаратах для зброджування цукровмістких середовищ і можливість його використання для інтенсифікації масообмінних процесів. Запропоновано бродильні апарати розглядати як концентратори потенціальної енергії розчинених газів з пропозиціями щодо використання останньої.

3. Показано, що ефекти швидкоплинної дегазації газонасичених середовищ за своєю структурою і ознаками подібні до явищ адіабатного кипіння. При цьому можливими є явища колапсу газових бульбашок, що є аналогом кавітаційних ефектів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Піддубний В.А.* Наукові основи і апаратурне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв. Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук. – К.: НУХТ. – 2008. – 48 с.

2. *Шевченко О.Ю.* Наукові основи і апаратурне оформлення процесів довгострокового зберігання харчових продуктів. Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук. – К.: НУХТ. – 2006. – 49 с.

3. *Соколенко А.І., Піддубний В.А., Шевченко О.Ю. та ін.* Гідроди-

наміка газорідних середовищ і інтенсифікація процесів бродіння // Магарач. Виноградарство и виноделие. – 2007. – № 1. – С. 36-38.

4. Соколенко А.І., Піддубний В.А., Шевченко О.Ю. та ін.. Моделювання гідродинаміки газорідних середовищ в умовах бродіння. Сб. науч. тр. «Виноградарство и виноделие». – Ялта: «Магарач», – 2007. – XXXVII. – С. 19-121.

Надійшла до редколегії 17.01.10