

GENERATION OF ENERGY PULSES IN THE ENVIRONMENTS OF FERMENTATION EQUIPMENT

O. Shevchenko, A. Sokolenko, V. Kostyuk

National University of Food Technologies

Key words:

Gas-retaining capacity
Saturation
Pulse
Solubility
Gas phase
Mass exchange

Article history:

Received 17.09.2017
Received in revised form
04.10.2017
Accepted 25.10.2017

Corresponding author:

O. Shevchenko

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article deals with the peculiarities of the transition processes in gas-liquid media, which are accompanied by changes in the gas-retaining capacity due to the changes in physical pressures in gas-conducting liquids. As a result of the rapid changes in gas-holding capacity in the full volume of the gas-liquid medium, the generation of physical and, simultaneously, energy impulses affecting mass-exchange processes occurs. It is important that these impulses of physical pressures are followed by critical transitions of the level of saturation of the liquid phase with carbon dioxide. A mathematical formalization is proposed that reflects the reaction of media on pressure variables in the form of changes in gas retention capacity. It is determined that the consequence of energy impulses implementation is the rapid desaturation of the environment and the reduction of its osmotic pressure.

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-10

ГЕНЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ У СЕРЕДОВИЩАХ БРОДИЛЬНИХ АПАРАТІВ

О.Ю. Шевченко, А.І. Соколенко, В.С. Костюк

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто особливості перебігу перехідних процесів у газорідних середовищах, які супроводжуються змінами газоутримувальної здатності у зв'язку зі змінами фізичних тисків у газових надрідних об'ємах. Унаслідок швидкоплинних змін газоутримувальної здатності в повному об'ємі газорідного середовища відбувається генерування фізичних і, одночасно, енергетичних імпульсів, що впливає на масообмінні процеси. Важливо, що після цих імпульсів фізичних тисків відбуваються критичні переходи показника рівня насичення рідкої фази діоксидом вуглецю. Запропоновано математичну формалізацію, яка відображує реакцію середовища на змінні тиски у формі змін газоутримувальної здатності. Визначено, що реалізація енергетичних імпульсів своїм наслідком має швидкоплинну десатурацію середовища і зниження в ньому осмотичних тисків.

Ключові слова: *газоутримувальна здатність, насичення, імпульс, розчинність, газова фаза, масообмін.*

Постановка проблеми. Зброджування цукровмісних середовищ супроводжується утворенням діоксиду вуглецю, який на межі поділу фаз «дріжджі–середовище» в молекулярній формі переходить в рідинну фазу. Поступове збільшення концентрації розчиненого CO_2 завершується утворенням диспергованої газової фази, що супроводжується відповідними енергетичними впливами.

Метою дослідження є оцінка перспектив детермінованих впливів на газорідинні середовища для генерування енергоматеріальних імпульсів при використанні внутрішніх потенціалів.

Викладення основних результатів дослідження. Накопичення енергетичних потенціалів у формі розчиненого діоксиду вуглецю завершується утворенням диспергованої газової фази в середовищах і збільшенням тиску в об'ємах газових середовищ герметичних технологічних апаратів [1—4]. Приріст такого тиску у своїй динаміці впливає на генерування газової фази відповідно до закону Генрі, за яким розчинність CO_2 , як і інших газів, пропорційна парціальним тискам:

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

де c_n — граничне насичення середовища діоксидом вуглецю, кг/м^3 ; k — константа Генрі, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{Па})$; P — парціальний тиск відповідної газової фази, Па.

В умовах технологій бродіння газова фаза у надрідинному об'ємі і диспергована газова фаза представлені лише діоксидом вуглецю, а тому парціальні та фізичні тиски збігаються між собою. Таким чином, у наших умовах величина P відображує загальне значення тиску.

При цьому важливо, що у своїй дії на газові бульбашки тиски P є змінними, оскільки вони представлені сумою тисків у газовій фазі над середовищем і гідростатичними тисками в циліндро-конічних апаратах (ЦКА). За спливання газової фази змінні тиски визначаються відповідними координатами кожної з бульбашок. Такі трансформації диспергованої газової фази і відповідних енергетичних потенціалів взаємопов'язані. Якщо наявність газової фази в надрідинному об'ємі має обмежене значення з точки зору масообміну між ними, то перехід до режиму з досягненням критичного або заданого тиску означає спрацювання запобіжних клапанів у технологічному апараті і різке зниження тиску. Ця обставина означає необхідність знову повернутися до закону Генрі, геометрична інтерпретація якого наведена на рис. 1. Лінійна залежність $c_n = c_n(P)$ зображена з урахуванням кута α , на основі чого враховується вплив температури. У зв'язку з цим відмітимо, що представлення закону Генрі у формі (1) має класичний вигляд, однак насправді до неї слід ввести добавку, яка враховувала б вплив температури. Таке врахування має привести до форми:

$$c_n = c_n(P, t). \quad (2)$$

На графічних залежностях впливи температури враховуються кутом α . Це означає, що для фіксованого значення температури зброджуваного середовища $t = \text{const}$ залежність (1) наводиться у формі, зображеної на рис. 1.

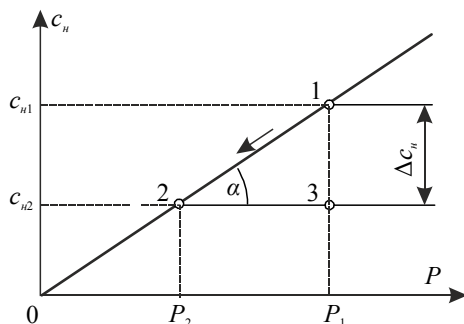


Рис. 1. Залежність між термодинамічними параметрами відповідно до закону Генрі

Припустимо, що системою керування термодинамічних параметрів передбачено досягнення максимального тиску $P_1 = P_{\max}$ і від моменту його досягнення передбачається зниження до певного значення P_2 . При цьому зниження концентрації розчиненого діоксиду вуглецю повинно скласти Δc_n :

$$\Delta c_n = c_{n1} - c_{n2}. \quad (3)$$

Виділення питомої кількості Δc_n з швидкоплинним перебігом у часі означає таке ж швидкоплинне збільшення утримувальної здатності по CO_2 з відповідним енергетичним імпульсом. При цьому

$$\Delta c_n = \Delta P \text{tg} \alpha; \quad \Delta P = P_1 - P_2. \quad (4) \text{—} (5)$$

Важливо, що зміна тиску ΔP залежить від координат обраних точок 1 та 2. Це означає, що масова питома кількість CO_2 від перепаду $\Delta P = \text{const}$ не залежить. Однак об'єм газу, що виділяється, залежить від обраних координат і це означає, що величина газотримувальної здатності також залежить від розташування відповідних прошарків середовища. Очевидно, що газова фаза виділяється у формі масивів диспергованих бульбашок, загальний об'єм яких обчислюємо з використання рівняння Менделєєва-Клайперона:

$$V_{\text{пит.}} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{P_{(к)}} RT. \quad (6)$$

При цьому питома маса CO_2 є відомою, також відомий кінцевий тиск $P_{(к)}$, який відповідає обраній координаті H , тоді

$$P_{(к)} = P_0 + mgH. \quad (7)$$

Тому

$$V_{\text{пит.}} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{P_0 + mgH} RT, \quad (8)$$

де R і T — універсальна газова стала й абсолютна температура середовища відповідно.

Хоча в цій частині міркувань введено поняття питомого об'єму газової фази $V_{\text{пит.}}$, проте очевидно, що величина $V_{\text{пит.}}$ у нашому випадку є нічим

іншим, як газоутримувальною здатністю, що утворена в результаті різкого і швидкоплинного зниження тиску. Зародження додаткової газоутримувальної здатності відбувається в повному об'ємі газорідинної суміші і має оцінюватися енергетичним впливом такої потужності і якості, які створити іншими засобами і технологіями впливу практично неможливо.

При цьому необхідно підкреслити особливості таких енергетичних проявів: вказане генерування диспергованої газової фази означає наявність енергетичних витрат на утворення міжфазної поверхні, що повинно враховуватися в загальному енергетичному балансі. Одночасно з цим слід назвати ще одну особливість. На відміну від тієї частини газової фази, що існувала і продовжує існувати в новому режимі після енергетичного імпульсу, щойно генерована дисперсна фаза потрапляє в режим перехідного процесу. Існування такого режиму є неминучим, оскільки на нову, зароджену в середовищі бульбашку миттєво розпочинає діяти архімедова сила незалежно від того, в якому стані знаходиться рідинна фаза. У зв'язку з цим починається відносно переміщення газової фази зі зростаючою швидкістю до значення, за якого сила опору середовища стане рівною архімедовій силі.

Оскільки суттєво більша частина генерованого CO_2 з ЦКА має видалятися, то це вказує на необхідність прийняття рішень про організацію режимів імпульсного енергетичного впливу.

Генерування дисперсної газової фази на фоні вже існуючої означає додатковий розрив суцільності середовища, що супроводжується збільшенням загального об'єму газорідинного середовища і його «набуханням». Останнє означає наявність переміщення кожної складової рідинної маси середовища і всієї маси в цілому. Такий процес є перехідним, оскільки його дія в часі обмежена у зв'язку з різким зниженням енергетичного потенціалу розчиненого газу. Математична модель, яка стосується такого перехідного процесу, може записуватися у формі рівняння руху приведеної маси m системи:

$$m\ddot{y} = P_{\text{руш.}} - P_{\text{оп.}}, \quad (9)$$

і відповідно до принципу Релея $m = \frac{1}{3} m_{\text{р.ф.}}$, де $m_{\text{р.ф.}}$ — загальна маса рідинної фази; $P_{\text{руш.}}$ — приведена рушійна Архімедова сила; $P_{\text{оп.}} = mg$ — сила опору переміщення приведеної маси системи; \ddot{y} — прискорення приведеної маси.

Переміщення приведеної маси системи в перехідному процесі залежить від динаміки зміни рушійної сили, яка може розраховуватися через величину газоутримувальної здатності. Феноменологічні міркування дають змогу зробити припущення про те, що зародження додаткової газоутримувальної здатності теж супроводжується інерційними явищами і тому рушійний фактор $P_{\text{руш.}}$ у своїй динаміці є функцією часу. Хоча в першому наближенні і з урахуванням того, що перехідний процес за умовою (9) в часі переважає час формування диспергованої газової фази більше ніж на порядок, останнє надає можливість умовно вважати величину $P_{\text{руш.}}$ після її повного формування змінною у зв'язку з безперервно зменшуваною величиною газоутримувальної

здатності. Перехідний процес складається з двох етапів. Першому відповідає різке зниження тиску в газовій надрідинній фазі від P_1 до P_2 (1) і збільшення сумарного об'єму диспергованої газової фази та газотримувальної здатності. На другому етапі в міру зменшення газотримувальної здатності прискорення \ddot{u} отримує від'ємний знак і рівень газорідинного середовища знижується до мінімуму.

Наступна герметизація зброджуваного середовища призводить до поступового зростання тиску в технологічному апараті, накопичення розчиненого діоксиду вуглецю і до повторного формування диспергованої газової фази. Очевидно, що описаний енергетичний імпульс після свого завершення порушує динаміку відтворення газотримувальної здатності і супроводжується втратою певної частини енергетичного потенціалу перемішування середовища. З цієї точки зору виглядає доцільним обмеження імпульсу по зниженню тиску, що є цілком досяжним, хоча можливими є заходи щодо компенсації втрат за рахунок штучного підвищення газотримувальної здатності.

Права частина рівняння (9) містить у собі силові показники. Раніше було показано, що рушійний фактор визначається величиною газотримувальної здатності і тому $P_{руш.} = P_{руш.}(u)$. Оскільки газотримувальна здатність за інших рівних умов є функцією часу, то і рушійна сила також відслідковує її зміни і є функцією часу.

Процес додаткового нарощування газотримувальної здатності є швидкоплинним з досягненням екстремуму за час $t_{екс.}$ (рис. 2). Сила опору при переміщенні приведеної маси залишається величиною сталою, однак для математичної формалізації правої частини умови (9) необхідним є одержання експериментальних доповнень.

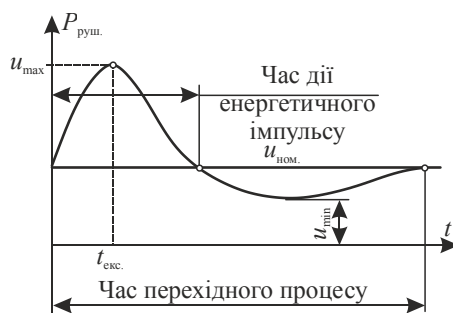


Рис. 2. Графічна інтерпретація перехідного процесу, пов'язаного з енергетичним імпульсом

Важливо, що енергетичний імпульс може бути програмованим за величиною і в часі за рахунок регульованої динаміки зниження тиску в газовому об'ємі. Очевидно, що остання може бути представлена різними законами, зокрема лінійними з різними проміжками досягнення екстремального значення $P_{руш.ек.}$. У такому випадку на першому етапі отримаємо:

$$P_{\text{руш.}} = P_{\text{руш.}(n)} + k_y t; \quad m\ddot{y} = P_{\text{руш.}(n)} + k_y t - P_{\text{оп.}}, \quad (10) \text{---} (11)$$

де k_y — коефіцієнт пропорційності, Н/с.

Виконавши заміну $\ddot{y} = d\dot{y}/dt$, запишемо, що:

$$d\dot{y} = \frac{P_{\text{руш.}(n)}}{m} dt + \frac{k_y t}{m} dt - \frac{P_{\text{оп.}}}{m} dt. \quad (12)$$

Тут $P_{\text{руш.}(n)}$ відповідає початковій величині рушійної сили (і початковій величині газотримувальної здатності). Інтегрування умови (12) дає змогу записати:

$$\dot{y} = \frac{P_{\text{руш.}(n)}}{m} t + \frac{k_y t^2}{2m} - \frac{P_{\text{оп.}}}{m} t + C, \quad (13)$$

де C — стала інтегрування.

Останню знайдемо за початкових умов:

$$t_{(n)} = 0; \quad y_{(n)} = P_{\text{руш.}(n)}; \quad \dot{y}_{(n)} = 0. \quad (14)$$

Тоді остаточно отримаємо:

$$\dot{y} = \frac{P_{\text{руш.}(n)} - P_{\text{оп.}}}{m} t + \frac{k_y t^2}{2m}. \quad (15)$$

Повторне інтегрування умови (15) дає змогу записати:

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt}. \quad (16)$$

Здійснивши підстановку (16) і розділивши змінні, отримаємо:

$$dy = \frac{P_{\text{руш.}(n)} - P_{\text{оп.}}}{m} t dt + \frac{k_y t^2}{2m} dt.$$

Інтегрування останнього виразу приводить до рівняння:

$$y = \frac{P_{\text{руш.}(n)} - P_{\text{оп.}}}{m} \cdot \frac{t^2}{2} + \frac{k_y t^3}{6m} + C'. \quad (17)$$

За початкових умов (14)

$$C' = P_{\text{руш.}(n)}. \quad (18)$$

Остаточно координата газорідного середовища визначається залежністю:

$$y = P_{\text{руш.}} + \frac{P_{\text{руш.}(n)} - P_{\text{оп.}}}{m} \cdot \frac{t^2}{2} + \frac{k_y t^3}{6m}. \quad (19)$$

За умовою (19) досягається можливість визначення y_{max} і максимальної газотримувальної здатності по CO_2 .

Висновки

1. Наведені міркування вказують на можливий і значний перерозподіл енергетичних потенціалів у газорідних середовищах. Однак створений на першому етапі енергетичний імпульс супроводжується частковою втратою енергетичного потенціалу на другій частині перехідного процесу.

2. Разом з тим зміни в гідродинаміці середовища несуттєво впливають на швидкості генерування газової фази і загальний енергетичний вплив за час перехідного процесу слід очікувати незмінним.

3. У випадках негативних впливів імпульсів слід стабілізувати силові дії, оскільки сили інерції в масивах рухомих середовищ впливають на газову фазу, додатково деформують її, змінюють умови масообміну і газоутримувальну здатність.

4. В умовах реалізації енергетичних імпульсів важливою складовою впливу є швидкоплинна десатурація середовища, яка означає таке ж швидкоплинне зниження осмотичного тиску.

Література

1. Спиртовое брожение. Биохимические этапы спиртового брожения [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://vinograd-vino.ru/protsessy-proiskhodyashchie-pri-izgotovlenii-vina/173-spirtovoe-brozhenie.html>.

2. Шевченко О.Ю. Колігативні властивості культуральних середовищ / О.Ю. Шевченко, А.І. Соколенко, К.В. Васильківський та ін. // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2017. — Том 23, № 2. — С. 131—139.

3. Інтенсифікація тепло- масообмінних процесів у харчових технологіях / А.І. Соколенко, А.А. Мазаракі, О.Ю. Шевченко та ін. — Київ : Фенікс, 2011. — 536 с.

4. Osmotic pressure in the fermentation media technologies / A. Sokolenko, O. Shevchenko, I. Maksymenko and other // Ukrainian Food Journal. — 2017. — Volume 6. — Issue 1. — P. 134—140.

5. Леус Р.М. Удосконалення процесів стабілізації продукції харчових виробництв: автореф. дис. ... к-та техн. наук: спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / Леус Руслан Миколайович; НУХТ. — Київ, 2013. — 22 с.