

УДК 663.4

А.О. ЧАГАЙДА,

О.В. КОВАЛЬ

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

ЕНЕРГЕТИЧНІ ІМПУЛЬСИ В СЕРЕДОВИЩАХ БРОДИЛЬНИХ АПАРАТІВ

Наведено інформацію, яка стосується особливостей утворення діоксиду вуглецю з наступним синтезом диспергованої газової фази. В енергетичних трансформаціях хімічна енергія цукрів перетворюється частково в енергію синтезу біомаси мікроорганізмів та енергію формування міжфазної поверхні у формі диспергованої газової фази. Узагальненням останньої є газоутримувальна здатність розчиненого газу та у формі вже диспергованої газової фази. Вплив на ці дві складові проявляється за рахунок зміни тисків, які порушують умови термодинамічної рівноваги, створюючи енергетичні імпульси. Наслідками останніх є інтенсифікація масообміну, зміни в структурі газоутримувальної здатності по газовій фазі, зміни в режимах синтезу цільових речовин.

Ключові слова: *гідродинаміка, бродильні середовища, енергетичні імпульси, газоутримувальна здатність.*

Накопичення енергетичних потенціалів у формі розчиненого діоксиду вуглецю завершується утворенням диспергованої газової фази в середовищах і за герметичних технологічних апаратів збільшенням тиску в об'ємах газових середовищ [1, 2]. Приріст такого тиску у своїй динаміці впливає на генерування газової фази у відповідності до закону Генрі, за яким розчинність CO_2 , як і інших газів, пропорційна парціальним тискам [3, 4]:

$$c_{\text{H}} = kP, \quad (1)$$

де c_{H} – граничне насичення середовища діоксидом вуглецю, кг/м^3 ; k – констан-

та 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 між собою співпадають. Таким чином в наших умовах величина P відображує загальне значення тиску.

При цьому важливо, що у своїй дії на газову фазу тиски P є змінними, оскільки вони представлені сумою тисків у газовій фазі над середовищем і гідростатичними тисками. За спливання газової фази змінні тиски визначаються відповідними координатами ко-

жної з бульбашок. Особливості таких трансформацій диспергованої газової фази і відповідних енергетичних потенціалів поєднані між собою. Якщо присутність газової фази в надрідинному об'ємі практично не має значення з точки зору масообміну між ними, то перехід до режиму з досягненням критичного тиску

означає спрацювання запобіжних клапанів в технологічному апараті і різке зниження тиску. Ця обставина означає необхідність знову повернутися до закону Генрі, геометрична інтерпретація якого наведена на рис. 1. Лінійна залежність $c_H = c_H(P)$ зображена з присутністю кута α , на основі чого враховується вплив температури. У зв'язку з цим відмітимо, що представлення закону Генрі у формі (1) носить класичний вид, однак насправді до неї слід ввести добавку, яка враховувала б вплив температури. Таке врахування має привести до форми:

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

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

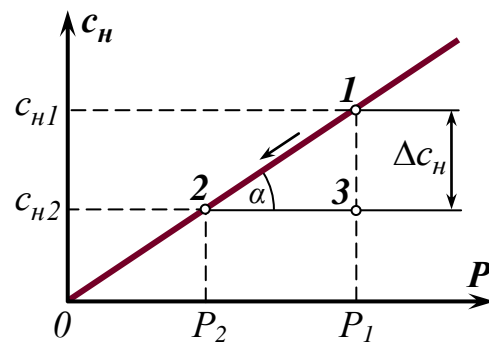


Рис. 1. Залежність між термодинамічними параметрами у відповідності до закону Генрі

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_H :

$$\Delta c_H = c_{H1} - c_{H2}. \quad (3)$$

Виділення питомої кількості Δc_H з швидкоплинним перебігом у часі означає таке ж швидкоплинне збільшення газотримувальної здатності з енергетичним імпульсом. При цьому

$$\Delta c_H = \Delta P \operatorname{tg} \alpha; \quad (4)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2. \quad (5)$$

Важливо, що зміна тиску ΔP від координати обраної точки не залежить. Це означає, що масова питома кількість CO_2 від координати всякої точки також не залежить. Однак об'єм газу, що виділяється, від координати залежить і це означає, що величина утримувальної 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:

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

Як було показано раніше питома маса CO_2 є відомою і відомим є 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 – відповідно універсальна газова фаза і абсолютна температура середовища.

Хоча в цій частині міркувань введено поняття питомого об'єму газової фази $V_{\text{пит.}}$, проте можливо стверджувати, що це здійснено з відчуттям «поваги» до рівняння універсального стану газу. Але ж очевидно, що величина $V_{\text{пит.}}$ у

нашому випадку є нічим іншим, як газотримувальною здатністю, що утворена в результаті різкого і швидкоплинного зниження тиску. Таке зародження додаткової утримувальної здатності має місце 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 присутність 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 є немінучим, оскільки на нову зароджену в середовищі бульбашку миттєво розпочинається дія Архімедової сили незалежно від того, в якому стані знаходиться рідинна фаза. У зв'язку з цим починається відносне переміщення газової фази зі зростаючою швидкістю до значення, за якого сила опору середовища стане рівною Архімедовій силі.

Раніше було показано, що суттєво більша частина генерованого CO_2 з ЦКТ має видалятися. 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 присутність переміщення кожної складової рідинної маси середовища і всієї маси в цілому. Такий процес є перехідним, оскільки його дія в часі є обмеженою 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

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

де m – приведена маса системи. У відповідності до принципу Релея $m = \frac{1}{3} m_{p.f.}$, де $m_{p.f.}$ – загальна маса рідинної фази; $P_{руш}$ – приведена рушійна Архімедова сила; $P_{оп} = mg$ – сила опору переміщення приведеної масі системи; \ddot{y} – прискорення приведеної маси.

Переміщення приведеної маси системи в перехідному процесі залежить від динаміки зміни рушійної сили, яка може розраховуватися через величину утримувальної здатності. Феноменологічні міркування дозволяють зробити припущення про те, що зародження додаткової утримувальної здатності теж супроводжується інерційними явищами і тому рушійний фактор $P_{руш}$ у своїй динаміці є функцією часу. Хоча в першому наближенні і з врахуванням того, що перехідний процес за умовою (9) в часі переважає час формування диспергованої газової фази більше ніж на порядок, останнє дозволяє умовно вважати величину $P_{руш}$ після її повного формування змінною у зв'язку з безперервно зменшуваною величиною утримувальної здатності. Тому перехідний процес складається з двох етапів. Першому відповідає різке зниження тиску в газовій надрідинній фазі від P_1 до P_2 (рис. 1) і збільшення сумарного об'єму диспергованої газової фази та утримувальної здатності. На другому етапі по мірі зменшення утримувальної здатності прискорення \ddot{y} отримує від'ємний знак і рівень газорідинного середовища знижується до мінімуму.

Наступна герметизація зароджуваного середовища приводить 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 утримувальної 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 по компенсації втрат за рахунок штучного підвищення утримувальної здатності.

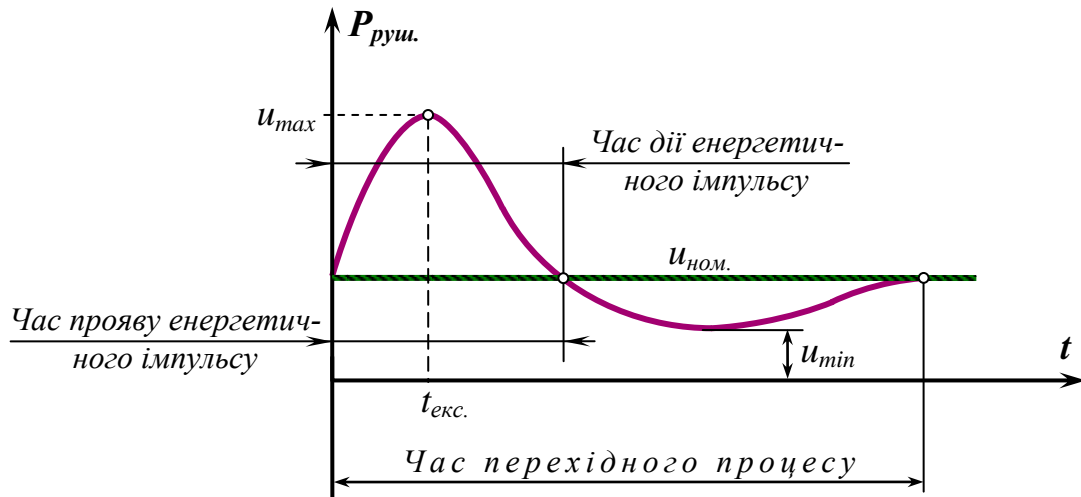


Рис. 2. Графічна інтерпретація перехідного процесу, пов'язаного з енергетичним імпульсом

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

Процес додаткового нарощування утримувальної 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.

Важливо, що енергетичний імпульсу 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 і у тому числі лінійними з різними проміжками досягнення екстремального значення $P_{руш.ек.}$. У такому випадку на першому етапі маємо:

$$P_{руш.} = P_{руш.(п)} + k_y t; \quad (10)$$

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

де k_y – коефіцієнт пропорційності, Н/с.

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

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

Тут $P_{руш.(n)}$ відповідає початковій величині рушійної сили (і початковій величині утримувальної здатності). Інтегрування умови (3.70) дозволяє записати:

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

де C – стала інтегрування.

Останню знайдемо за початкових умов:

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

Тоді остаточно маємо:

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

Повторне інтегрування останньої умови дозволяє записати:

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

Здійснивши підстановку (16) і розділивши змінні маємо:

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

Інтегрування останнього виразу приводить до рівняння:

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

За початкових умов (14) маємо

$$C' = P_{руш.(n)}. \quad (18)$$

Остаточно координата газорідного середовища визначається залежністю:

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

За умовою (19) досягається можливість визначення y_{max} і максимальної

утримувальної здатності по CO_2 .

ВИСНОВКИ. Наведені міркування з аналітичними залежностями вказують на можливий важливий і значний перерозподіл енергетичних потенціалів. Проте, як бачимо, створений енергетичний імпульс завершується втратою енергетичного потенціалу на другій частині перехідного процесу. Разом з тим слід очікувати, що зміни в гідродинаміці середовища мало і, навіть, зовсім мало відобразяться на швидкості генерування газової фази. Іншими словами загальний енергетичний вплив за час перехідного процесу слід очікувати не змінним. Проте, якби дослідження підтвердили негативні впливи імпульсів, слід було б звернутись до стабілізації силових дій. Адже сили інерції в масивах рухомих середовищ впливають на газову фазу, додатково деформують її, змінюють умови масообміну і газоутримувальну здатність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кунце, В. Технология солода и пива /В. Кунце. – С.-Пб.: Профессия, 2001. – 912 с.
2. Транспортно-технологічні системи пивзаводів / А.І. Соколенко, А.І. Українець, В.А. Піддубний / За ред. А.І. Соколенка. – К.: АртЕк, 2002. – 304 с.
3. Інтенсифікація тепло- масообмінних процесів в харчових технологіях: Монографія / А.І. Соколенко, А.А. Мазаракі, О.Ю. Шевченко та ін.; під ред. д-ра техн. наук, проф. А.І. Соколенка. – К.: 2011. – 536 с.
4. Фізико-хімічні методи обробки сировини і стабілізація харчових продуктів / А.І. Соколенко, О.Ю. Шевченко, В.А. Піддубний та ін. – К.: ПП. Люксар, 2009. – 454 с.

А.О. Чагайда, О.В. Коваль

Энергетические импульсы в средах бродильных аппаратов

Приведена інформація, касаюча особностей образования диоксида углерода с последующим синтезом диспергированной газовой фазы. В энерге-

тических трансформациях химическая энергия сахаров превращается частично в энергию синтеза биомассы микроорганизмов и энергию формирования межфазной поверхности в форме диспергированной газовой фазы. Обобщением последней является газотримувальна способность растворенного газа и в форме уже диспергированной газовой фазы. Воздействие на эти две составляющие проявляется за счет изменения давления, которые нарушают условия термодинамического равновесия, создавая энергетические импульсы. Результатом последних является интенсификация массообмена, изменения в структуре газотримувальной способности по газовой фазе, изменения в режимах синтеза целевых веществ.

Ключевые слова: *гидродинамика, бродильные среды, энергетические импульсы, газотримувальна способность.*

A. Chagayda, O. Koval

Energy pulses in environment of fermentation apparatus

The information relating to the features of formation of carbon dioxide with subsequent synthesis of dispersed gas phase. In energy transformations Chemical energy is converted partly sugars into energy synthesis biomass of microorganisms and the formation of interfacial surface energy in the form of dispersed gas phase. Generalization ability of the latter is gas-retention dissolved gas and form are dispersed gas phase. The impact of these two components is manifested by changes in pressure, violating conditions of thermodynamic equilibrium, creating energy pulses. Resulted in a mass transfer intensification, changes in the structure gas-retention ability in the gas phase, changes in the modes of synthesis of target compounds.

Keywords: *hydrodynamics, fermentation medium energy pulses gas-retention ability.*