

А.А. ПАЛАШ, інженер,
 О.Ю. ШЕВЧЕНКО, д-р.техн.наук,
 А.І. СОКОЛЕНКО, д-р.техн.наук,
 Національний університет харчових технологій

ОСОБЛИВОСТІ МАСООБМІНУ В ГАЗОРІДИННИХ КУЛЬТУРАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Наведено інформацію, що стосується взаємозв'язків між геометричними характеристиками апаратів, параметрами масообміну та інтенсивністю аерації.

Ключові слова: масообмін, аерація, апарат, параметр, гідростатичний тиск, схема.

Дана информация, касающаяся взаимосвязей между геометрическими характеристиками аппаратов, параметрами массообмена и интенсивностью аэрации.

Ключевые слова: массообмен, аэрация, аппарат, параметр, гидростатическое давление, схема.

Масообмінні процеси в газорідних середовищах є характерними для значної кількості харчових та мікробіологічних технологій. При цьому утворення газової фази в рідинній може бути результатом хімічних або біохімічних взаємодій, або газова фаза примусово подається і диспергується в рідинній. Розглянемо особливості масообміну в культуральних середовищах, в яких на основі аеробних процесів здійснюється синтез мікроорганізмів, наприклад, хлібопекарських дріжджів. Необхідність такого дослідження пояснюється тим, що до теперішнього часу в оцінці рівнів аерації середовищ продовжують використовувати такий неправомірний показник, як співвідношення газового потоку в кубічних метрах на один метр кубічний рідинного середовища за одиницю часу [2, 3, 6, 7]. При цьому ніяк не враховується геометрія апаратів, що стосується співвідношення діаметра і висоти останнього.

Одним з чинників, який впливає на масообмін і залежить від гідростатичного і загального тисків в апараті є стала насичення c_n середовища киснем, яка разом з плинною концентрацією c_c визначає рушійний потенціал процесу у формі

$$\frac{dM_{O_2}}{dt} = k_v S (c_i - c_c), \quad (1)$$

де $\frac{dM_{O_2}}{dt}$ — швидкість розчинення кисню в середовищі; k_v — коефіцієнт масопередавання; S — поверхня поділу фаз.

В межах тисків, в яких знаходяться культуральні середовища, стала насичення c_n у відповідності до закону Генрі лінійно залежить від парціального тиску P кисню в газовій суміші:

$$c_n = k_p P, \quad (2)$$

де k_p — константа Генрі, що залежить від фізико-хімічних властивостей компонентів середовища і його температури.

Висота шару середовища в промислових апаратах для вирощування мікроорганізмів складає від 2-3 до 15-16 м, що означає наявність відповідних гідростатичних тисків і вплив на величини парціальних тисків та сталі насичення. Звичайно газова фаза подається в нижню частину культурального середовища і диспергується в ньому, наприклад, в режимі барботажа з утворенням газових бульбашок [2, 4, 5]. Очевидно, що по мірі спливання тиск в них зменшується від якоїсь величини P_2 до P_1 і відповідно зменшується стала насичення від c_{n1} до c_{n2} . (рис. 1).

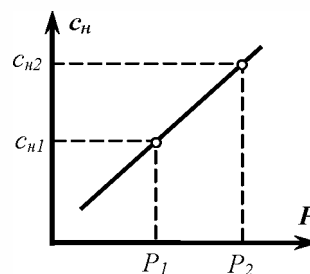


Рис. 1. Графік залежності сталої насичення c_n від парціального тиску

За лінійної залежності $c_n = c_n(P)$ середня величина сталої насичення розраховується як середньоарифметичне, тобто

$$c_{n(c)} = \frac{c_{n1} + c_{n2}}{2} \quad (3)$$

Закон Генрі величини парціальних тисків визначає як абсолютні, тобто окрім гідростатичних необхідно враховувати атмосферні тиски. Наприклад, в результаті переходу від висоти стовпчика рідинної фази 4 м до показника 8 м за атмосферного тиску, що дорівнює 10 м в.ст., збільшення парціального тиску складає

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{18}{14} = 1,286 \text{ рази.}$$

Разом з тим зростання кратності по сталій насичення становитиме лише

$$\frac{c_{n8(c)} \cdot \frac{k_r(P_{(18)}+P_{(10)})}{2}}{c_{n4(c)} \cdot \frac{k_r(P_{(14)}+P_{(10)})}{2}} = \frac{18+10}{14+10} = 1,167 \text{ рази.} \quad (4)$$

де $c_{n8(c)}$ та $c_{n4(c)}$ — середні сталі насичення, що відповідають висотам шару рідинної фази 8 і 4 м відповідно.

Таким чином зростання середньої сталої насичення за вказаного переходу від значення висоти шару $H = 4$ до $H = 8$ м становитиме лише 16,7 %.

Разом з цим слід звернутися до оцінки зростання потужності вхідного газового потоку. Якщо виходити з оцінки інтенсивності аерації у m^3 газового потоку на $1 m^3$ рідинної фази за одиницю часу, то це означає, що за ізооб'ємних апаратів вхідний газовий потік V_r має залишатися сталим. При цьому потужність потоку складе

$$N = PV_r, \quad (5)$$

де P — тиск вхідного газового потоку, Па; V_r — об'ємний газовий потік, m^3/c .

За переходу у зростанні тиску від 4 до 8 м водяного стовпчика споживана потужність збільшиться у 2 рази, оскільки

$$\frac{N_8}{N_4} = \frac{P_8 V_r}{P_4 V_r} = 2. \quad (6)$$

Причиною таких відмінностей у співвідношеннях потужностей є те, що стискання газової фази здійснюється від величини атмосферного тиску 10 м в.ст. У таблиці наведено результати розрахунків, що стосуються вказаних переходів по відношенню до параметрів, які відповідають висоті середовища 4 м.

З даних, наведених у таблиці, витікає, що за показником питомої потужності ізооб'ємні апарати зі зростанням відношення висоти шару рідинної фази до діаметра H/D мають помітні переваги. Це є результатом того, що збільшення висоти шару середовища у 2 рази приводить до зменшення площі поперечного перерізу F також у 2 рази. За умови $V_r = const$ приведена швидкість газової фази $W_{пр} = V_r/F$, m/c ,

зростає у 2 рази, збільшуючи швидкість розчинення кисню, приблизно, у такому є співвідношенні. При цьому збільшення сталої насичення на 16,7 % є помітним позитивним додатком.

Оскільки загальне підвищення тисків в таких системах підвищує парціальні тиски кисню в газовій фазі, то заслуговує на увагу оцінка впливів такого напрямку.

Відносні показники, що стосуються аерації і масообміну у культуральних середовищах

Висота шару рідинної фази, м	Середній абсолютний тиск газової фази, м в.ст.	Відношення $\frac{c_{n c 1}}{c_{n c 4}}$	Відношення потужностей N_i/N_4
2	11	-	-
4	12	1,0	1,0
6	13	1,083	1,5
8	14	1,167	2,0
10	15	1,25	2,5
12	16	1,333	3,0
14	17	1,417	3,5
16	18	1,5	4,0
18	19	1,58	4,5
20	20	1,667	5,0
22	21	1,75	5,5
24	22	1,833	6,0
26	23	1,917	6,5
28	24	2,0	7,0
30	25	2,083	7,5

Припустимо, що за інших рівних умов для випадку з висотою шару рідинної фази 4 м тиск над нею підвищили до 0,14 МПа. Тоді на вхід в апарат необхідно подати повітря з тиском 0,18 МПа (тиски наведені в абсолютних одиницях), що відповідає середньому тиску 0,16 МПа, за яким визначається стала насичення. У відповідності до формули (4) відносно випадку роботи апарата під атмосферним тиском зростання c_n становитиме 33 %.

Однак за такого переходу об'ємний потік газу V_r залишається незмінним, що означає за збільшення тиску газової фази у 2 рази подвійне зростання споживаної повітродувною машиною потужності.

Звідси витікає, що вибір на користь апарата з висотою рідинного шару 8 м був би доцільнішим за показником питомих енергетичних витрат. Проте і у системі з «наддувом» є перспектива зниження останніх за рахунок часткової рециркуляції стиснутого повітря. На рис. 2 наведено схему апарата з барботажною аераційною системою, відповідним забезпеченням, до якого входять циклон, повітродувна машина, ежектор і запірні арматура. За рахунок повертання рециркуляційної частини повітря під тиском споживана потужність повітродувної машини зменшується.

Можливість роботи системи в режимі рециркуляції повітря пов'язана з тим, що ефективність барботажної аераційної системи по рівню вилучення

кисню відносно низька і на висоті шару 1 м складає біля 0,5 %. Це дає можливість співвідношення рециркуляційної частини повітря порівняно з величиною вхідного газового потоку підтримувати на рівні 75-80 %. Ця частка повітря стискається у повітродувній машині до 0,18 МПа абсолютного тиску, а частка свіжого повітря додається в ежекторі за рахунок підсмоктування. При цьому 20-25 % відпрацьованого повітря скидається в атмосферу через витяжну трубу.

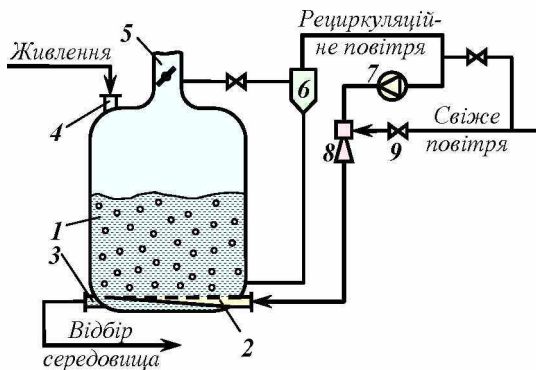


Рис. 2. Схема апарата для вирощування мікроорганізмів з рециркуляційною системою постачання повітря: 1 — апарат; 2 — аераційна барботажна система; 3 — патрубок відведення середовища; 4 — патрубок підведення живлення; 5 — витяжна труба; 6 — циклон; 7 — повітродувна машина; 8 — ежектор; 9 — запірні арматури

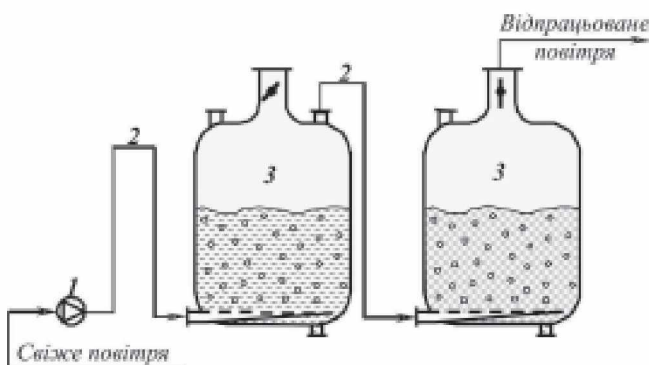


Рис. 3. Схема підключення апаратів з послідовною аерацією: 1 — повітродувна машина; 2 — повітроводи-гідрозатвори; 3 — апарати з барботажними системами аерації

Інший варіант роботи в умовах підвищених значень сталої насичення s_n стосується послідовної аерації двох апаратів (рис. 3). За таких умов стала насичення в першому апараті буде збільшена на 33 %, якщо висота рідинної фази в кожному з апаратів складає біля 4 м. Ефективність такої системи за показниками аерації близька до ефективності апаратів з 8-ми метровим набором культурального середовища.

Разом з тим перевагою системи з рис. 3 є подвійне диспергування газової фази в рідинній, оскільки локальна зона, прилегла до барботажних елементів, характеризується підвищеним рівнем масообміну [8, 9].

Результати аналізу і оцінки аераційних систем стосовно газорідних середовищ дозволяють відмітити наступне:

1. Показником інтенсивності масообміну в газорідних системах не може бути відношення об'ємного потоку газової фази до об'єму рідинної фази, оскільки різні геометричні параметри апаратів впливають на величину утримуваної рідинним середовищем газової фази. На цю обставину вказують потужності енергозабезпечення процесів аерації.

2. Об'єктивним показником інтенсивності аерації слід вважати приведену швидкість газової фази, що обраховується відношенням об'ємного газового потоку до площі поперечного перерізу апарата.

3. Невідповідність кратності зростання сталих насичення до збільшення висоти рідинної фази є результатом залежності s_n від абсолютних значень парціальних тисків, тоді як зі зміною висоти рідинної фази змінюються лише гідростатичні тиски.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Биофизика* / Под ред. В.А. Антонова. — М.: Гуманит.изд.центра ВЛАДЦОС, — 1999. — 288 с.
2. *Гандзюк М.П.* Совершенствование процесса культивирования хлебопекарских дрожжей и его аппаратурного оформления. — Дисс. на соиск. ученой ст.д.т.н., К.: 1984. — 485 с.
3. *Дубінін О.О., Переявлавцев О.М., Тахістова Г.О.* Визначення динамічних параметрів висхідних потоків газорідної суміші у шарі рідини // Харчова пром-сть. — К.: НУХТ, — 2003. — С. 92-94.
4. *Єрмаков П.П.* Автоколивальна масообмінна апаратура харчової промисловості. Автореф. дисерт. на здобуття ступ. д.т.н. — К.: 1995. — 28 с.
5. *Кардашев Г.А.* Физические методы интенсификации процессов химической технологии. — М.: Химия, 1990. — 208 с.
6. *Семихатова Н.М.* Хлебопекарные дрожжи. — М.: Пищевая пром-сть, 1986. — 200 с.
7. *Піддубний В.А.* Інтенсифікація масообміну в апаратах для вирощування мікроорганізмів // Харчова і переробна пром-сть. — № 11. — 2006. — С. 17-19.
8. *Піддубний В.А.* Енергетичні показники систем аерації культуральних середовищ // Харчова і переробна пром-сть. — № 12. — 2006. — С. 19-21.
9. *Соколенко А.І., Піддубний В.А., Українець А.І.* та ін. Використання потенціалу масових сил для інтенсифікації масообміну в рідинних і газорідних потоках // Харчова і переробна пром-сть. — № 3. — 2007. — С. 15-17.

Одержана редколегією 24.05.09 р.