

УДК 519.863

Палаш А.А., інженер,

Бут С.А., кандидат технічних наук,

Таран В.М., доктор технічних наук

Національний університет харчових технологій

ТЕРМОДИНАМІКА І МАСООБМІН В ПРОЦЕСАХ АЕРАЦІЇ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ

Виконано аналіз і оцінку впливів змінних тисків над культуральними середовищами у мікробіологічних виробництвах з метою інтенсифікації процесів масообміну.

Ключові слова: газорідинні середовища, аерація, масообмін, гідродинаміка.

Выполнен анализ и оценка влияния изменяющегося давления над культуральными средами в микробиологических производствах с целью интенсификации процессов массообмена.

Ключевые слова: газожидкостные среды, аерация, массообмен, гидродинамика.

В значній кількості випадків харчові і мікробіологічні технології ґрунтуються на використанні однофазних або кількафазних систем. Перші з них відносяться до гомогенних, а другі є гетерогенними системами. При цьому фазою називають частину системи, відокремлену від її інших частин поверхнею поділу, перехід через яку супроводжується стрибкоподібною зміною властивостей. Утворення водопарових або водогазових гетерогенних систем у більшості пов'язано зі зміною їх енергетичних потенціалів, а тому зміна останніх за рахунок зовнішніх впливів або за рахунок зміни окремих термодинамічних параметрів приводить до перебігу їх до нових станів рівноваги.

Наслідком останніх є помітна інтенсифікація процесів тепло- і масообміну на поверхні поділу фаз, що знаходить використання, наприклад, в дискретно-імпульсних технологіях, процесах аерації рідинних середовищ або навпаки в режимах їх деаерації (дегазації) тощо.

До числа важливих чинників гетерогенних систем відносяться тиски, від діапазону зміни яких можливо досягти або навпаки ліквідувати режими фазових переходів, що характеризуються інтенсифікацією процесів тепло- та масообміну. Проте і у випадках значно менших змін тисків досягаються помітні впливи на перебіг вказаних процесів [1-4].

Метою цього дослідження визначено оцінку впливів змін тиску в гетерогенній системі на ефективність аерації культуральних середовищ для вирощування мікроорганізмів. При цьому вважаємо, що введення повітряної фази в рідинну досягається за рахунок барботажних газорозподільчих елементів, а інтенсифікація масообміну – за рахунок змінних тисків у газовій фазі над газорідинним середовищем.

За вказаних умов прискорення масообміну пояснюється трансформацією

диспергованої газової фази, в якій має місце як зміна поверхні масопередавання S , так і впливи на коефіцієнт масопередавання k_m та на рушійний фактор процесу через сталу насичення c_n рідинної фази відповідним газом.

При цьому маємо залежність, що визначає швидкість розчинення, наприклад, кисню

$$\frac{dM_{O_2}}{d\tau} = k_m S (c_n - c_\tau), \text{ кг/с}, \quad (1)$$

де c_τ – плинна концентрація розчиненого газу, кг/м^3 .

Кисень відноситься до малорозчинних газів, що визначає головний опір масопередаванню у такій складовій, як рідинна плівка навколо газової бульбашки. Оскільки рідинна плівка за деформації бульбашок оновлюється як за збільшення так і за зменшення останніх, це означає позитивний з точки зору інтересів масообміну вплив. Разом з тим вплив на параметри S та c_n має подвійний характер, оскільки перший з них за зростання тиску зменшується, а другий – зростає. Окрім того, відгуком диспергованої газової фази на зміну тиску в системі має бути зміна температури. При цьому можуть мати місце два крайніх режими, а саме ізотермічний та адіабатний, які відповідають граничним впливам. Очевидно, що ізотермічному стисканню газових бульбашок відповідають відносно повільні зміни тисків, а адіабатним режимам – швидкоплинна зміна останніх.

В ізотермічному процесі тиски P і об'єми V диспергованої газової фази пов'язані залежністю

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}, \quad (2)$$

а у адіабатному маємо

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^k, \quad (3)$$

де $k = 1,4$ – показник адіабати.

Відносні зміни окремих газових бульбашок сферичної форми можливо розповсюдити на весь їх масив, що знаходиться у рідинній фазі. У зв'язку з цим визначимося з такими змінами.

Об'єм і поверхня окремої бульбашки визначаються формулами:

$$V_6 = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{6} \pi d^3; \quad S_6 = 4 \pi r^2 = \pi d^2, \quad (4)$$

де d – діаметр бульбашки.

Якщо позначити об'єми бульбашок до деформації V_{61} , а після – V_{62} , то в умовах ізотермічного процесу одержуємо

$$V_{62} = \frac{P_1 V_{61}}{P_2}. \quad (5)$$

Підстановкою умови (4) в умову (5) приходимо до форми

$$\frac{1}{6} \pi d_2^3 = \frac{\pi P_1 d_1^3}{6 P_2}; \quad d_2 = d_1 \sqrt[3]{\frac{P_1}{P_2}}. \quad (6)$$

При цьому відношення поверхонь складає:

$$\frac{S_{62}}{S_{61}} = \left(\sqrt[3]{\frac{P_1}{P_2}} \right)^2 = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{0,667} \quad (7)$$

Відповідно для адіабатного процесу маємо

$$V_{62} = V_{61} \sqrt[k]{\frac{P_1}{P_2}}; \quad (8)$$

$$\frac{S_{62}}{S_{61}} = \left(\sqrt[3]{k \frac{P_1}{P_2}} \right)^2 = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{0,333}, \quad (9)$$

Результати розрахунків за формулою (7) стосовно ізотермічного процесу та за формулою (9) для адіабатного процесу наведені у табл. 1 та на рис. 1. Як видно з наведених даних співвідношенню $P_2 > P_1$ відповідає значніше збільшення S_{62}/S_{61} в ізотермічному процесі порівняно з адіабатним і зворотній результат має місце при $P_2 < P_1$. Очевидно, що сукупності політропних процесів відповідають заштриховані зони між вказаними гілками залежностей на рис. 1. Як бачимо, глибина відгуку систем за показником відносної поверхні контакту фаз залежить від того, якому процесу відповідає режим зміни тиску P_2 .

Таблиця 1. Дані розрахунків щодо визначення залежностей $\frac{S_{62}}{S_{61}} = \frac{S_{62}}{S_{61}} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$ в ізотермічному та адіабатному процесах

P_1/P_2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
Ізотермічний процес S_{62}/S_{61}	0,215	0,342	0,543	0,711	0,862	1,0	1,129	1,252	1,368	1,480	1,588	1,692	1,793	1,891	1,988
Адіабатний процес S_{62}/S_{61}	0,117	0,223	0,425	0,621	0,812	1,0	1,185	1,369	1,550	1,730	1,910	2,086	2,263	2,439	2,613

У зв'язку з останнім можливо зробити висновок про те, що з метою одержання збільшених значень S_{62} нарощування тиску P_2 слід обирати з такою швидкістю, яка відповідає ізотермічному стисканню газової фази. Разом з тим зниженню тиску має відповідати швидкоплинний процес, який забезпечить наближення до адіабатних умов його перебігу.

На рівень доцільності використання адіабатних або ізотермічних процесів у впливах на дисперговану газову фазу вказують порівняльні оцінки. Так збільшення співвідношення S_{62}/S_{61} у ізотермічному процесі порівняно з адіабатним при значення $P_1/P_2 = 0,2$ складає 34,8 %, а при значення $P_1/P_2 = 2,8$ на 23,9 % переважає адіабатний процес. Це означає, що нарощування тиску доцільніше здійснювати сповільнено, тоді як зниження – прискорено.

Разом з тим зростання тиску в системі підвищує сталу насичення c_H і протилежний результат має зниження тиску. Інтегральну оцінку впливам, пов'язан-

ним зі змінами тиску здійсимо на основі рівняння (1). З врахуванням одержаних залежностей, що стосуються поверхонь поділу фаз, запишемо

$$\frac{dM_{O_2}}{d\tau} = k_M S_{(n)} \left(\frac{P_{(n)}}{P} \right)^{0,667} \left(c_{n(n)} \frac{P}{P_{(n)}} - c_\tau \right) \quad (10)$$

для ізотермічного процесу, а для адіабатного маємо:

$$\frac{dM_{O_2}}{d\tau} = k_M S_{(n)} \left(\frac{P_{(n)}}{P} \right)^{0,933} \left(c_{n(n)} \frac{P}{P_{(n)}} - c_\tau \right), \quad (11)$$

де доданий індекс (n) означає початковий параметр процесу; P – плинне значення тиску.

У відповідності до запису умов (10) та (11) видно, що зростання плинного тиску P міжфазну поверхню масообміну зменшує, а рушійний фактор збільшує. Для одержання порівняльних характеристик прийемо одиничні значення $k_M = 1$ та $S_{(n)} = 1$. Прийемо також початкові параметри тиску сталої насичення і плинної концентрації розчиненого O_2 :

$$P_{(n)} = 0,12 \text{ МПа}; \quad c_{n(n)} = 0,01 \text{ кг/м}^3; \quad c_\tau = 0,002 \text{ кг/м}^3.$$

Результати розрахунків щодо ізотермічного процесу наведені в табл. 2, та на рис. 2, а стосовно адіабатного – на рис. 3.

Таблиця 2. Розрахункові дані щодо оцінки впливів зміни тисків на швидкість розчинення кисню в умовах ізотермічного процесу

$P_{(n)}/P$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$\frac{dM_{O_2}}{d\tau}$, кг/с	0,0164	0,0125	0,01	0,0085	0,0075	0,0068	0,0062	0,0057	0,00526	0,00477	0,0043	0,00388	0,00349	0,00312	0,00277

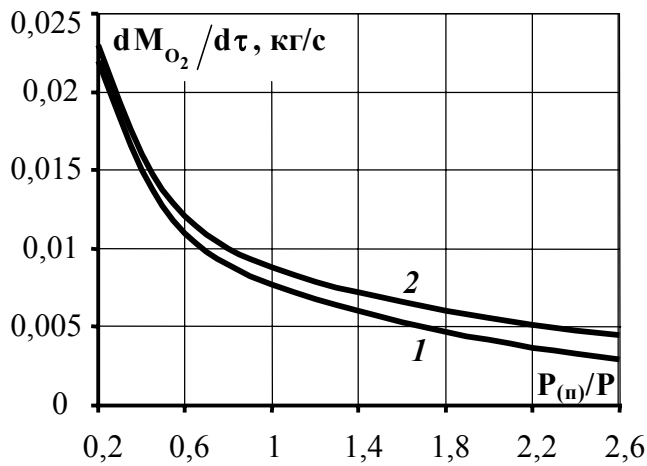


Рис. 3 Залежність швидкості розчинення діоксиду вуглецю від співвідношення тисків: 1 – за плинної концентрації розчиненого кисню $0,002 \text{ кг/м}^3$; 2 – за плинної концентрації $0,001 \text{ кг/м}^3$

режимів доцільніше виконувати через зміни тисків в газових об'ємах апаратів, що забезпечить відсутність будь-яких локальних зон без таких впливів. Деформації диспергованої газової фази за зміни тисків приводять до зміни об'ємів газової фази або утримувальної здатності. Наслідком останніх є зміни висоти газорідного середовища і порушення усталених режимів в циркуляційних контурах. Перехід до неусталених режимів гідродинаміки і масообміну процесів означає можливість інтенсифікації останніх.

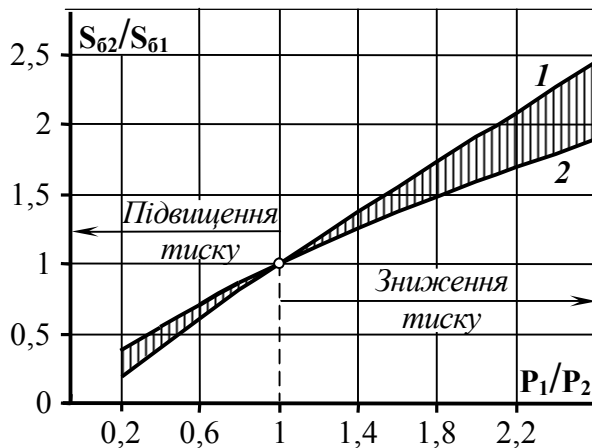


Рис. 1. Залежність співвідношень поверхонь масопередавання від співвідношень тисків в умовах адіабатного (1) та ізотермічного (2) процесів

Висновки

1. Як видно з розрахункових даних, зростання тиску в системі через вплив за чинником c_n супроводжується інтенсифікацією масообміну, хоча при цьому за інших рівних умов має місце зменшення поверхні масопередавання. Окрім того підтверджується доцільність вибору геометричних параметрів ізооб'ємних апаратів зі зростанням співвідношення висоти шару рідинної фази до площі перерізу.

2. Гідродинамічний стан газорідних середовищ визначається співвідношенням в них рідинної і газової фаз. Накладання пульсаційних режимів доцільніше виконувати через зміни тисків в газових об'ємах апаратів, що забезпечить відсутність будь-яких локальних зон без таких впливів.

Деформації диспергованої газової фази за зміни тисків приводять до зміни об'ємів газової фази або утримувальної здатності. Наслідком останніх є зміни висоти газорідного середовища і порушення усталених режимів в циркуляційних контурах. Перехід до неусталених режимів гідродинаміки і масообміну процесів означає можливість інтенсифікації останніх.

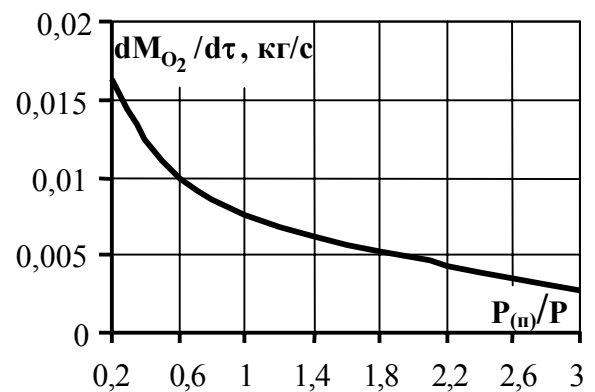


Рис. 2. Залежність швидкості розчинення кисню від співвідношення тисків в системі в умовах ізотермічного процесу

ЛІТЕРАТУРА

1. Гандзюк М.П. Совершенствование процесса культивирования хлебопе-

карских дрожжей и его аппаратурного оформления. Автореф. дисс. на соиск. ученой степени д.т.н., К.: – 1984. – 31 с.

2. Піддубний В.А. Інтенсифікація масообміну в апаратах для вирощування мікроорганізмів // Харчова і переробна пром-сть. – № 11. – 2006. – С. 17-19.

3. Соколенко А.І., Піддубний В.А., Українець А.І. та ін. Використання потенціалу масових сил для інтенсифікації масообміну в рідинних і газорідинних потоках // Харчова і переробна пром-сть. – № 3. – 2007. – С. 15-17.

4. Бондар О.А., Костюк В.С. Гідродинаміка аераційних систем аеротенків // Харчова і переробна пром-сть. – № 7. – 2008. – С. 60-63.