

Піддубний В.А.

Палаш А.А.

Шевченко О.Ю.

Національний університет
харчових технологій

УДК 621.798

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МАСООБМІНУ В ГАЗОРІДИННИХ СЕРЕДОВИЩАХ ЗА РАХУНОК ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНИХ ВПЛИВІВ

Дана оцeнка енергетических дискретно-импульсных влияний на массообмен в культуральных средах при синтезе аэробных микроорганизмов.

Ключевые слова: апарат, аерація, среда, массообмен, влияние, фаза, процесс.

Done of power discretely-impulsive influences on masstransfer in special solution at the synthesis of aerobic microorganisms is given.

Keywords: vehicle, supply by air, environment, masstransfer, influencing, phase, process.

Вирощування аеробних мікроорганізмів в культуральних середовищах здійснюється в умовах їх безперервної аерації з метою підтримання рівня розчиненого кисню на номінальному рівні [1–4]. Порушення останньої умови приводить до часткового переходу культур до бродіння з відповідними втратами вихідної сировини і зменшення виходу цільового продукту.

Метою цього дослідження була оцінка можливостей інтенсифікації масообміну на міжфазній поверхні за рахунок дискретно-імпульсних впливів.

Стосовно апаратів для вирощування мікроорганізмів авторами запропоновано в якості зовнішнього енергетичного джерела використати енергію вхідного потоку повітря для аерації (рис. 1).

Апарат працює наступним чином. Безперервний потік стиснутого повітря зі стабілізованим тиском подається в систему аерації, виконану як повітроводи рівномірного тиску. Це забезпечує рівномірний розподіл газової фази по поперечному перерізу апарата. При цьому загальний тиск повітря $P_{\text{заг}}$ має бути більшим за тиск гідростатичного стовпчика $H_{\text{рід}}$ і

заплановане значення ΔP , тобто

$$P_{\text{заг}} > H_{\text{рід}} + \Delta P. \quad (1)$$

Величина перевищення жорстко не програмується і її можливо прийняти як частку

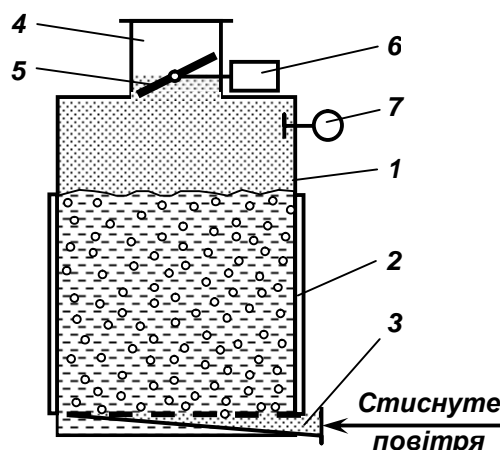


Рис. 1. Схема апарата для вирощування мікроорганізмів: 1 – корпус; 2 – сорочка охолодження; 3 – аераційна система; 4 – витяжна труба; 5 – шибер; 6 – привод шибера; 7 – датчик тиску

ΔP , наприклад, в межах $\psi_0 = 0,5 \dots 1,0$. Тоді

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{рід}} + \Delta P(1 + \psi_0). \quad (2)$$

У витяжній трубі 4 апарата змонтовано шибєр 5 з приводом 6, завданням яких є часткове (або ж до повного) перекриття труби, в результаті якого здійснюється зростання тиску в газовому просторі і всьому об'ємі середовища.

Очевидно, що за наявності шибєра з приводом 6 і датчика 7 існує можливість реалізувати різні закони зміни тиску P в газовому просторі і одержати

$$P = P_{(n)} \pm \Delta P(t), \quad (3)$$

де $P_{(n)}$ – початковий тиск у газовому просторі апарата.

Перебіг перехідного процесу відгуку системи на зміну тиску пов'язаний з її інерційними властивостями і може моделюватися на основі рівнянь динаміки, що дозволяє розгорнути зміну параметрів у часі. Однак на першому етапі дослідження скористаємося положеннями термодинаміки, які дозволяють визначити кінцеві параметри і зробити оцінку перспектив використання елементів дискретно-імпульсних технологій у впливі на такі показники як утримувальна здатність по газовій фазі та поверхня поділу фаз.

Виконання такого дослідження потребує визначення умов перебігу процесу. Стискання або розширення газової фази супроводжується зміною її температури. Швидкий перебіг перехідного процесу наближає його до адіабатного, а за повільної зміни тиску – до ізотермічного. Розглянемо обидва вказані випадки.

Для ізотермічного процесу маємо для всього об'єму апарата:

$$\frac{P_{(n)}}{P_{(n)} + \Delta P} = \frac{u_2}{u_1}, \quad (4)$$

де u_1 та u_2 – відповідно початкова і кінцева утримувальна здатність по газовій фазі.

Звідси

$$u_2 = \frac{P_{(n)} u_1}{P_{(n)} + \Delta P}. \quad (5)$$

Прирошення утримувальної здатності

$$\begin{aligned} \Delta u = u_2 - u_1 &= \frac{P_{(n)} u_1}{P_{(n)} + \Delta P} - u_1 = \\ &= u_1 \left(\frac{P_{(n)}}{P_{(n)} + \Delta P} - 1 \right). \end{aligned} \quad (6)$$

У загальному випадку маємо

$$\Delta u = u_1 \left(\frac{P_{(n)}}{P_{(n)} \pm \Delta P} - 1 \right). \quad (7)$$

Робота зміни утримувальної здатності

$$L = P_1 u_1 \ln(P_1/P_2). \quad (8)$$

За від'ємних значень ΔP відбувається розширення газової фази і тоді робота L здійснюється за рахунок потенціальної енергії стиснутого газу, а за додатного значення ΔP енергозабезпечення стискання здійснюється за рахунок першоджерела, тобто за рахунок стиснутого повітря.

Аналогічним чином для умов адіабатного процесу одержимо співвідношення

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{u_1}{u_2} \right)^k, \quad (9)$$

де k – показник адіабати.

Відповідною підстановкою і перетвореннями одержуємо

$$\Delta u = u_2 - u_1 = u_1 \left[\frac{1}{\sqrt[k]{\frac{P_{(n)} \pm \Delta P}{P_{(n)}}}} - 1 \right]; \quad (10)$$

$$L = \frac{P_{(n)} u_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{P_2 \pm \Delta P}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]. \quad (11)$$

Енергія, що вводиться в середовище в режимі дискретно-імпульсних впливів – це робота зміни утримувальної здатності і з урахуванням рівняння (8) для значення $P_1 = 0,04$, $P_2 = 0,035$ МПа і $u_1 = 20$ м³ одержуємо

$$\begin{aligned} E = L &= 0,04 \cdot 10^6 \cdot 20 \ln \frac{0,04}{0,035} = 106925 \text{ Дж} = \\ &= 106,925 \text{ кДж} \end{aligned}$$

Середня потужність цієї енергозміни залежить від часу перебігу процесу $t_{(к)}$. Для уявлення про можливість енергетичного навантаження у таблиці наведені розрахунки з представленням даних щодо потужності і питомої потужності таких впливів.

Потужність перехідного режиму є важливим чинником процесу, але очевидно, що частота відтворення пульсацій визначає кількість додаткової енергії, яка вводиться в середовище. При цьому слід мати на увазі можливі наслідки у двох проявах. Якщо рівень потужності перехідного процесу достатній для додаткового подрібнення газової фази, то за показником поверхні поділу фаз бажаний ефект досягається і

окрім того має місце зростання коефіцієнтів масопередавання. За відсутності додаткового подрібнення газової фази інтенсифікація масообміну стосується тільки часу перехідного процесу. Важливо, що цей час є регульованим параметром в режимі зниження тиску (за

від'ємного ΔP), а в режимі підвищення тиску він залежить від параметрів системи.

	Час перебігу процесу, с						
	1	2	3	4	5	6	7
Загальна потужність, кВт	106,925	53,46	35,64	26,73	21,385	17,82	15,275
Питома потужність, кВт/м ³	1,528	0,764	0,509	0,382	0,3055	0,2546	0,218

Результати розрахунків по оцінці потужностей дискретно-імпульсних впливів

Визначимо співвідношення таких параметрів за умови переходу системи від тиску P_2 до P_1 при закритому шибері на витяжній трубі і якщо $P_1 > P_2$.

За стабільного газового об'єму апарата V для двох граничних станів по тисках P_1 і P_2 запишемо

$$P_1 V = M_1 R T; \quad (12)$$

$$P_2 V = M_2 R T, \quad (13)$$

де M_1 та M_2 – маси газу в об'ємі V .

Віднявши від умови (12) умову (13), отримуємо

$$(P_1 - P_2)V = RT(M_1 - M_2). \quad (14)$$

Тоді прирощення маси в газовому об'ємі апарата складає

$$\Delta M = M_1 - M_2 = \frac{(P_1 - P_2)V}{RT}. \quad (15)$$

Зміна маси газу відбувається за рахунок аерації середовища і за сталої величини об'ємних витрат газу V_r масові витрати складуть величину

$$M_r = \rho_n V_r, \quad (16)$$

де ρ_n – густина повітря.

Оскільки параметри ΔM і M_r пов'язані між собою залежністю

$$\Delta M = M_r t_{(k)}, \quad (17)$$

де $t_{(k)}$ – час досягнення величини ΔM , то маємо

$$t_{(k)} = \frac{\Delta M}{M_r} = \frac{(P_1 - P_2)V}{RTV_r\rho_n}. \quad (18)$$

Знайдемо числове значення $t_{(k)}$ за значень параметрів $P_1 = 0,04$; $P_2 = 0,035$ МПа, $V = 30$ м³; $R = 287$ Дж/(кг·К); $T = 293$ К; $\rho_n = 1,29$ кг/м³; $V_r = 1,94$ м³/с.

$$t_{(k)} = \frac{(0,04 - 0,035) \times 10^6 \times 30}{287 \times 293 \times 1,94 \times 1,29} = 0,713 \text{ с.}$$

Досягнення такого часу в регулюванні

положення шибера може мати технічні складності, проте вихід із такої ситуації доцільно шукати на шляху часткового перекривання витяжної труби.

Висновки. Одержаний результат вказує на те, що за вибраних параметрів системи можливою є робота в режимі безперервних перехідних процесів. За збільшення тиску має місце накопичення потенціальної енергії системи. Важливо, що і в процесі стискання газової фази і у процесі її розширення має місце перехід потенціальної енергії у кінетичну енергію рідинного середовища, додаткова турбулізація останнього і інтенсифікація масообміну. Разом з тим стискання або розширення дискретної газової фази супроводжується зміною загального об'єму газорідинної суміші. Таким чином має місце перетворення потенціальної енергії стиснутого газу в кінетичну енергію рідинної фази та в потенціальну енергію останньої у зв'язку зі зміною координати центра мас системи по висоті.

Література

1. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 306 с.
2. Гандзюк М.П. Совершенствование процесса культивирования хлебопекарных дрожжей и его аппаратного оформления. – Дисс. на соиск. ученой ст. д.т.н., К. – 1984. – 485 с.
3. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях / А.А. Долинский, Б.И. Басок, С.И. Гулый и др. – Киев: ИТТФ НАНУ, 1996. – 206 с.
4. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. II. Исследование поведения ансамбля паровых пузырьков // Промышленная теплотехника. – 1996. – 18, № 1.