

УДК 628.54

О.Ю. Шевченко, д-р техн. наук
О.А. Бондар, інженер
Л.Ю. Шевченко, канд. біол. наук
Національний університет
харчових технологій

ОСОБЛИВОСТІ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ АЕРАЦІЇ ОБРОБЛЮВАНИХ СЕРЕДОВИЩ

Розглянуто питання щодо можливостей по інтенсифікації масообміну в газорідних середовищах за використання барботажних аераційних систем

Ключові слова: барботажні аераційні системи, масообмінні процеси, газова фаза, енергетичний баланс, кінетична енергія

The problem of the opportunities to intensify mass transfer in gas-liquid media by using bubbling aeration systems

Key words: bubbling aeration system, mass transfer processes, gas phase, energy balance, kinetic energy

Завданням аерації оброблюваних середовищ є доставка в них кисню, що споживається мікроорганізмами у розчиненому стані. Вивченню питання масообміну між газовою і рідиною фазами присвячена значна кількість досліджень, але фізико-хімічні властивості середовищ, термодинамічні параметри перебігу процесів, геометрія апаратів, способи введення газової фази, гідродинаміка середовищ тощо накладають особливості на масообмінні процеси, що визначає потребу у подальшому вивченні і вдосконаленні їх з метою підвищення ефективності як технологічної, так і загальної [1, 2, 3, 4].

Утворення поверхні поділу фаз починається від моменту їх контактування. Стосовно аеротенків для очищення стічних вод більш поширеними є барботажні аераційні системи, в які подається стиснуте повітря. Очевидно, що у цій взаємодії фаз необхідно враховувати їх термодинамічні властивості.

Рівень стискання газової фази (повітря) залежить від глибини занурення барботажної системи. В залежності від цього визначаються характеристики вентиляторів або повітрорудних машин. Стискання повітря є процесом, наближеним до адіабатного, в результаті якого маємо співвідношення:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad (1)$$

де T_1 і T_2 — відповідно початкова і кінцева температури газової фази; P_1 і P_2 — відповідно початковий і кінцевий тиски; k — показник адіабати.

Зростання ступеня стискання приводить до збільшення температури газу і за певних умов цю особливість доцільно враховувати, порівнюючи значення T_2 для газу і рідинного середовища в аеротенку. В залежності від співвідношення названих параметрів можливо впливати на температуру біологічного середовища. При цьому з точки зору інтересів розчинності кисню температуру середовища доцільно знижувати, однак мікрофлора активного мулу має свою оптимальну температуру життєдіяльності. У зв'язку з цим і, визначаючи останнє пріоритетом, важливо мати за параметр впливу на систему температуру стиснутого повітря.

Очевидно, що величина T_2 визначається початковою температурою повітря і співвідношенням тисків P_1 та P_2 . З використанням параметрів навколишнього середовища за рахунок охолодження стиснутого повітря можливо досягти охолодження біологічного середовища.

Розділ 1. Процеси та апарати ... виробничих процесів

Якщо температура T_2 стиснутого повітря і температура середовища співпадають, то на момент створення повітряних бульбашок теплообмін між ними відсутній. Однак по мірі піднімання газової фази і зі зниженням гідростатичного тиску відбувається зниження в бульбашках тиску, результатом чого є відповідне зменшення температури. Таким чином, подібну трансформацію неможливо віднести до адіабатного процесу. Скоріше він відповідатиме ізотермічному, для якого робота розширення 1 кг газу дорівнює:

$$l = RT \ln(P_1 / P_2), \quad (2)$$

тоді як для адіабатного процесу цей показник становив би:

$$l = \frac{R}{k-1}(T_1 - T_2), \quad (3)$$

де R — газова стала; для повітря $R = 287$ Дж/(кг·К).

Результати підрахунків по оцінці роботи ізотермічного розширення бульбашок 1 кг повітряної фази при $T = 293$ К і кінцевому тиску $P_2 = 0,1$ МПа наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків по оцінці роботи розширення бульбашок 1 кг повітря до тиску 0,1 МПа

Початковий тиск, МПа	0,105	0,110	0,115	0,120	0,125	0,130	0,135	0,140	0,145	0,150
Робота розширення, Дж	4102,8	8014,7	11723	158332	18764	22062	25236	28294	31245	34036

Для можливості подальшого поглиблення аналізу результатів, представлених у табл. 1, повернемося до оцінки загального енергетичного балансу процесу. При цьому будемо вважати, що початковий тиск газової фази складає величину 0,14 МПа, а її об'ємний потік має величину 2 м³/с.

За названих умов енергетичний потенціал цього потоку складає в оцінці його потужності

$$N_{\text{пот}} = PV = 0,04 \cdot 10^6 \cdot 2,0 = 80 \text{ кВт.}$$

Величина масового потоку при цьому становить

$$m_r = V\rho = 2,0 \cdot 1,29 = 2,58 \text{ кг / с,}$$

а його кінетична енергія залежить від швидкості потоку w_r . Якщо прийняти $w_r = 25$ м/с, то потужність кінетичної енергії потоку становитиме:

$$N_{\text{кін}} = \frac{m_r w_r^2}{2} = \frac{2,58 \cdot 25^2}{2} = 806,25 \text{ Вт} \approx 0,8 \text{ кВт.}$$

Для оцінки швидкості утворення міжфазної поверхні знайдемо кількість бульбашок діаметром $d_0 = 5$ мм, що генеруються в середовищі за вказаних параметрів системи:

$$n_{0,005} = \frac{V}{V_{0,005}} = \frac{2,0}{6,5 \cdot 10^{-8}} = 0,307 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1},$$

де $V_{0,005}$ — об'єм сферичної бульбашки діаметром 5 мм.

За вказаних умов швидкість створення поверхні поділу фаз становить:

$$f_{0,005} = 8087 \text{ м}^2 / \text{с}, \quad (4)$$

а потужність цього процесу повинна складати:

$$\frac{dE_{\text{пов}}}{dt} = \sigma f_{0,005} = 0,0727 \cdot 8087 = 587,9 \text{ Вт.} \quad (5)$$

Співставлення останнього результату з потужністю кінетичної складової енергії вхідного газового потоку вказують на їх співрозмірність. Разом з тим логічним висновком з цього порівняння може бути пропозиція про доцільність підвищення швидкості введення в контакт газової і рідинної фаз. Так, наприклад, для забезпечення генерації бульбашок з діаметром 5 мм швидкість повітря в барботажних отворах слід збільшити до величини:

$$w_r = \sqrt{\frac{2 \frac{dE_{\text{нов}}}{dt}}{m_r}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 587,9}{2,58}} = 21,35 \text{ м/с}. \quad (6)$$

Потужність ізотермічного розширення бульбашок потоку повітря від 0,14 до 0,10 МПа становитиме:

$$\frac{dl}{dt} = 28294 \text{ м}_r = 28294 \cdot 2,58 = 73 \text{ кВт}. \quad (7)$$

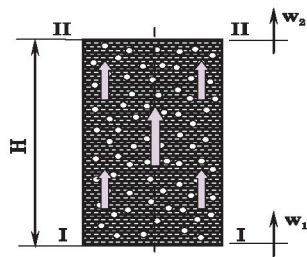


Рис. 1. Схема до визначення потужності і роботи сил інерції в потоці

Розширення газової фази пов'язане з гідростатичним тиском. Завдяки цьому процесу виникає висотна нерівномірність по вмісту газової фази у рідинній. При цьому за існування обмежень на підсмоктування рідинної фази у висхідний циркуляційний потік за рахунок дифузора має місце зростання швидкості рідинної фази. Таким чином виникає висотна нерівномірність як рідинної фази, так і газорідинної суміші в цілому.

Наслідком повисотної нерівномірності швидкості висхідного рідинного потоку є додаткові енергетичні витрати, пов'язані з подоланням сил інерції.

Розглянемо елемент циркуляційної труби (дифузора) висотою H, у якому вибрані рівні відрізків I-I та II-II (рис. 1).

Зміна швидкості рідинної фази від величини w_1 до w_2 визначає перепад:

$$\Delta w = w_2 - w_1. \quad (8)$$

Разом з тим середня швидкість потоку становить

$$w_c = \frac{w_1 + w_2}{2}. \quad (9)$$

Час Δt , за який відбувається вказана зміна швидкості, дорівнює:

$$\Delta t = \frac{H}{w_c} = \frac{2H}{w_1 + w_2}. \quad (10)$$

Тоді прискорення рідинної фази становить:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{(w_2 - w_1)(w_1 + w_2)}{2H} = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2H}. \quad (11)$$

За відомого масового потоку m_p визначаємо потужність, пов'язану з подоланням сил інерції:

$$N_{\text{с.ін.}} = m_p \frac{w_c^2}{2}. \quad (12)$$

Відомо, що співвідношення об'ємних потоків газової фази в ізотермічному процесі визначається залежністю:

$$\frac{V_{1r}}{V_{2r}} = \frac{P_2}{P_1}. \quad (13)$$

Разом з тим, маємо:

$$\frac{V_p + V_{1r}}{F} = w_1; \quad (14)$$

$$\frac{V_p + V_{2r}}{F} = w_2; \quad (15)$$

де F — площа поперечного перерізу циркуляційної труби (дифузора).

Тоді співвідношення швидкостей:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{V_p + V_{1r}}{V_p + V_{2r}}. \quad (16)$$

Оскільки $V_{2r} = V_{1r} \frac{P_1}{P_2}$, то

$$w_1 = w_2 \frac{V_p + V_{1r}}{V_p + V_{1r} \frac{P_1}{P_2}}, \quad (17)$$

або

$$w_2 = w_1 \frac{V_p + V_{1r} \frac{P_1}{P_2}}{V_p + V_{1r}}, \quad (18)$$

Таким чином, співвідношення швидкостей в циркуляційному елементі за інших рівних умов визначається величинами гідростатичних тисків на рівнях I-I та II-II і збільшення перепадів P_1 та P_2 супроводжується зростанням різниці швидкостей w_2 та w_1 і енергетичних витрат на подолання додаткових опорів, пов'язаних з силами інерції.

Висновки: Принципове значення з точки зору інтересів доставки в рідинне середовище кисню має ступінь дисперсності в ньому газової фази. Енергія взаємодії рідинної і газової фаз визначається швидкістю їх контактування. У зв'язку з цим швидкість газової фази в барботажних елементах доцільно підвищувати до значень 35–40 м/с.

ЛІТЕРАТУРА

1. Давыдов И.В., Доманский И.В., Соколов Н.Н. Оптимизация режима работы барботажного реактора вытеснительного типа. ЖПХ, 1974, т 47, С. 1419–1421.
2. Смирнов Н.Н. Биохимические реакторы. — Л.: Химия. — 1990. — 283 с.
3. Соколенко А.И. Исследование процессов аерации питательных сред и разработка новых конструкций дрожжерастильных аппаратов. — Дисс. на соискание степени канд. техн. наук. — К.: 1972. — 171 с.
4. Соколенко А.І., Хоменко М.Д., Піддубний В.А. та ін. Масообмін в процесах змішування рідинних і газових потоків // Цукор України — 2006 — № 6 — С. 19–21

Надійшла до редколегії 10.11.2010 р.