

УДК 664.08

Коваль О.В.

Бойко О.О.

Бут С.А., к.т.н.

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

ГЕОМЕТРИЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТІВ І ТЕМПЕРАТУРНА СТАБІЛІЗАЦІЯ СЕРЕДОВИЩ

Звичайні бродильні чани і лагерні танки мають певні обмеження за розмірами. Необхідність в більшій економічності виробництв потребувала використання більш містких технологічних апаратів для процесів бродіння і дозрівання пива. Результатом цього було створення циліндро-конічних бродильних і лагерних танків.

Циліндро-конічні танки виготовляються з верхньою частиною у формі циліндра і з нижньою – у формі конуса. Така форма дає можливість повністю відокремлювати від пива осівші дріжджі. Також спрощуються спорожнення і миття танку.

У перших спробах ЦКТ конструювалися з довільними розмірами до 40 м у висоту і більше ніж 10 м у діаметрі. Проте на основі практичних і експериментальних даних було зроблено висновок про те, що у випадках охолодження середовищ через сорочки такі співвідношення розмірів не найкращі. У зв'язку з сучасними даними відношення діаметра танка до висоти суслу у ньому може змінюватися від співвідношення 1:1 до 5:1. В ЦКТ з охолодженням через сорочку відношення $d:H$ має певний вплив на гомогенність пива, що особливо помітно на тих стадіях процесу, за яких утворюється відносно мало CO_2 [1].

Вади великорозмірних ЦКТ:

- якщо ЦКТ має великий об'єм, то заповнення його довге і перше варіння встигає забродити;
- якщо останнє варіння перекачується без дріжджів, то ця частина довго стоїть незабродженою через обмежене перемішування;
- – у великих танках довготривалі операції спорожнення, миття, дезинфекції;
- значні питомі теплові навантаження.

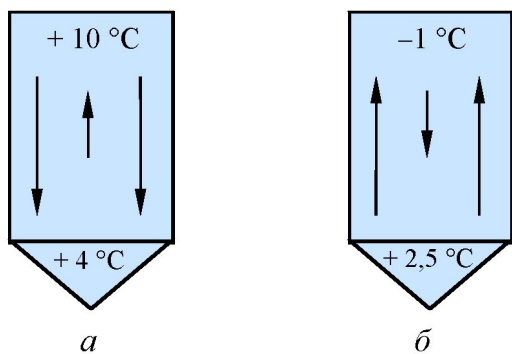


Рисунок 1 - Конвективні потоки за бродіння (а) та за холодного витримування (б)

Охолодження ЦКТ. У середньому під час зброджування пива з середньою початковою екстрактивністю виділяється 4300...4600 кДж на 1 гл суслу.

Холодоносій охолоджують на 3...4°C нижче від необхідної температури. Як холодоносій використовують етиленгліколь або розчин NaCl з температурою замерзання $t_{зам} = -5...-15^{\circ}C$.

Температурне розшарування пива є причиною утворення конвективних потоків і зміни їхніх напрямків (рис. 1) [1].

У зв'язку з цим до числа задач цього дослідження віднесено наступне:

- визначити раціональні геометричні параметри бродильних апаратів у формі ЦКТ;
- дослідити обмеження і фактори стабілізації температур середовищ;
- одержати математичні моделі динаміки осмотичних тисків;

Визначення геометричних параметрів технологічних апаратів для зброджування середовищ. До числа головних вимог технологічних апаратів відноситься відповідність їх місткості продуктивності системи, надійність підтримання номінальних температурних параметрів, швидкості зброджування середовищ, обмеженому піноутворенню тощо. Вибір геометрії апарата, окрім того, орієнтується на деякі особливості та додаткові запити. Так до

числа важливих може відноситися вимога мінімізації витрат матеріалу на виготовлення апарата. Знайдемо математичне співвідношення між поверхнею апарата S і його об'ємом V для циліндричного апарата:

$$S_{\text{ц}} = \pi d h + \frac{\pi d^2}{4} \quad (1) \quad V_{\text{ц}} = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad (2)$$

де d і h – відповідно діаметр і висота апарата.

Якщо прийняти умову мінімізації його поверхні $h = d$, то ввівши цю умову у рівняння (1) і (2), запишемо:

$$S_{\text{ц}} = \pi d^2 + \frac{\pi d^2}{2} = 1,5 \pi d^2 \quad (3) \quad V_{\text{ц}} = \frac{\pi d^3}{4}, \quad (4)$$

Звідси витікає очікуваний висновок про те, що поверхня апарата пропорційна квадрату його розміру, а об'єм – кубу цього ж розміру. Визначимо їх співвідношення у формі:

$$S_{\text{ц}}/V_{\text{ц}} = 6/d. \quad (5)$$

Питома площа поверхні (площа поверхні віднесена до об'єму) різко зменшується за формулою гіперболи, що відображується нижченаведеним співвідношенням:

d	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	5,0
$S_{\text{ц}}/V_{\text{ц}}$	30,0	15,0	10,0	7,5	6,0	4,0	3,0	2,4	2,0	1,2

З останнього витікає, що значне нарощування геометричного параметра d в решті-решт може привести до неможливості стабілізації температури середовища, якщо поверхня устаткована сорочкою нагрівання або охолодження. Аналогічна ситуація мала місце у спробах створення великогабаритних бродильних апаратів, у тому числі і ЦКТ, коли питома площа охолодження виявлялася недостатньою для досягнення енергетичних балансів потенціалів бродіння і тепловідведення.

Ця частина міркувань стосується геометрії апаратів у зв'язку з тим, що умова по визначенню площі поверхні охолодження $F \geq 0,939 \frac{dM_{\text{ц}}}{dt} \cdot \frac{1}{k\Delta t}$ повинна охоплювати діапазон можливих змін у зв'язку з відмінностями параметрів впливів. Додатковим впливом на систему щодо її не лінійності є зміна гідродинамічних режимів.

Утворювані газорідні циркуляційні контури частіше носять хаотичний характер, що також приводить до порушень теплової циркуляції.

Таким чином, гідродинамічні режими в технологічних апаратах з охолодженням середовищ визначаються двома причинами. Перша з них стосується охолоджувального контуру, в якому опускні потоки утворюються на поверхнях охолодження. Друга причина стосується утворення контурів за участю газової фази.

У другому ж випадку рушійним фактором є присутність диспергованої газової фази і притому значення має швидкість утворення останньої, що у свою чергу залежить від швидкості зброджування цукрів. Певного рівня узагальнення в останньому випадку може бути представлено утримувальною здатністю середовища по газовій фазі.

Несталість значення Δt пов'язана з тим, що зі збільшенням значення h температура в циркуляційній частині рідинної фази зменшується.

Останнє має бути повноцінною реакцією системи на зміну утримувальної здатності її по газовій фазі. Відомо, що величина утримувальної здатності пов'язана з синтезом CO_2 , який відбувається у всякій обраній точці просторової системи координат.

Перехід до етапу, на якому відбувається утворення газової фази на всій висоті середовища означає важливий наслідок щодо умови, яку ми визначили у формі $u = u(h) \neq \text{const}$, оскільки спливання бульбашок з нижче розташованого об'єму середовища доповнює вище розташовані частини.

З цієї частини аналізу фізичних явищ, які відбуваються в системі з самозароджуваною і дисперговою фазою стає очевидним підтвердження оцінки про важливість впливів

геометричних параметрів технологічних апаратів.

Першопочатковим параметром технологічного апарата є його робочий об'єм, якому відповідає номінальний об'єм середовища. позначимо цей показник як V_p , що має доповнюватися об'ємом газової фази V_r у надрідинному просторі. Тоді повний об'єм апарата складає $V = V_p + V_r$. Разом з тим рідинний об'єм складається з циліндричної і конічної частин:

$$V_p = V_{p.ц.} + V_{p.к.}$$

Цим записам відповідають співвідношення:

$$V_{p.ц.} = \frac{\pi d^2}{4} h; \quad (6) \quad V_{p.к.} = \frac{\pi d^2}{12} h_k; \quad (7)$$

Відповідно площі робочих поверхонь, з яких складається загальна поверхня теплообміну:

$$S_{p.ц.} = \pi d h; \quad (8) \quad S_{p.к.} = \pi r \ell \sqrt{\frac{d^2}{4} + h_k^2}. \quad (9)$$

Тоді загальна поверхня, на якій відбувається теплообмін:

$$S_{зар.} = S_{p.ц.} + S_{p.к.} = \pi d h + \pi \frac{d}{2} \sqrt{\frac{d^2}{4} + h_k^2}. \quad (10)$$

В подальшій частині пошуків геометричних параметрів необхідно стабілізувати висоту конічної частини через обрану величину кута α (рис. 2).

$$h_k = d \operatorname{tg} \alpha / 2. \quad (11)$$

Узагальнимо співвідношення між величинами h_k і d позначкою k_{h_k} : $h_k = k_{h_k} d$. (12)

Тоді умова (10) переписується:

$$S_{зар.} = \pi d h + \pi \frac{d}{2} \sqrt{\frac{d^2}{4} + k_{h_k}^2 d^2}. \quad (13)$$

В останній залежності невідомою залишається висота циліндричної частини h . Для знаходження цього параметра скористаємося умовами (6) і (7) та запишемо вираз по визначенню загального об'єму:

$$V_{зар.} = \frac{\pi d^2}{4} h + \pi \frac{d^2}{12} h_k. \quad (14)$$

Звідси визначаємо:

$$h = \frac{V_{зар.} - \pi \frac{d^2}{12} h_k}{4 / \pi d^2}. \quad (15)$$

Присутність мікробіологічної складової в середовищах означає необхідність обмеження різниці температур на поверхні теплопередачі. У зв'язку з цим зростає роль цього показника, питома величина якого визначається залежністю у формі:

$$\frac{S_{зар.}}{V_{рід.}} = \frac{\pi d h + \pi \frac{d}{2} \sqrt{\frac{d^2}{4} + k_{h_k}^2 d^2}}{\pi d^2 h / 4 + \pi d^2 h_k / 12} = \frac{12 \left(h + 0,5 \sqrt{\frac{d^2}{4} + k_{h_k}^2 d^2} \right)}{3 d h + d h_k}. \quad (16)$$

Висновок. Розташування поверхні охолодження на бічній циліндричній частині і на конічній частинах приводить до того, що у конусному об'ємі культуральне середовище завдяки законам циркуляції буде найбільш охолодженим, що протидіє активному масообміну в об'ємі апарата. Ліквідація цього недоліку може досягатися влаштуванням примусового циркуляційного контуру.

Література

1. Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях: Монографія / А.І.Соколенко, А.А.Мазаракі, В.А.Піддубний, О.Ю.Шевченко та ін. – К.: 2012. – 484 с.

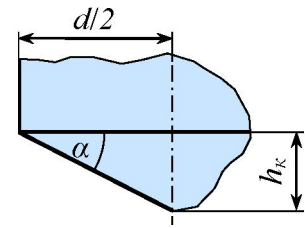


Рисунок 2 – Схема до визначення кута α і висоти h_k конічного об'єму