

УДК 663.4 (035)

## DEFINITION OF GEOMETRICAL PARAMETERS FERMENTATION EQUIPMENT

O. Koval, I. Maksymenko, R. Leus

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
fermentation apparatus, mass transfer, heat transfer, heat flow, dynamics, geometry	Mathematical models for assessing impacts of geometric parameters fermentation apparatus in terms of determining the interests of specific surface cooling and stabilizing temperature parameters. Obtained generalizations regarding the dynamics of the generation of heat flows in fermented media and choice of geometrical parameters of devices and present impacts on mass and energy transfer in fermented media.
<b>Article history:</b> Received 31.04.2015 Received in revised form 15.05.2015 Accepted 25.05.2015	The influence of the choice of geometrical parameters of cylindrical and conical technological devices on the values of specific surfaces and surfaces cool. It is shown that when constructing cooling systems in the form of shirts in the environment in a conical volume will be significantly lower temperatures, leading to disruption of circulation and temperature shock appearance for microflora. The measures to activate the circulation paths and homogenization temperature fermentation media
<b>Corresponding author:</b> mif63@i.ua	

## ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БРОДИЛЬНИХ АПАРАТІВ

О.В. Коваль, аспірант,<sup>✉</sup>

І.Ф. Максименко, інженер,

Р.М. Леус, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

Запропоновано математичні моделі для оцінки впливів геометричних параметрів бродильних апаратів з точки зору інтересів визначення питомих поверхонь охолодження і стабілізації температурних параметрів.

Одержано узагальнення, яке стосується динаміки генерування теплових потоків в зброджуваних середовищах і вибору геометричних параметрів апаратів та представлення факторів впливу на масо- і енергообмін в зброджуваних середовищах.

**Ключові слова:** бродіння, апарат, масообмін, теплопередача, тепловий потік, динаміка, геометрія.

**Вступ.** Процеси анаеробного бродіння супроводжуються матеріальною трансформацією і перетвореннями цукрів в етанол і діоксид вуглецю. При цьому умови існування дріжджів вимагають врахування такого узагальненого показника, як осмотичний тиск середовища. Звідси витікає взаємозв'язок продуктивності технологій, геометрії апаратів та їх розмірів [1, 2].

Матеріали цієї публікації присвячені розкриттю вказаних співвідношень, що визначає її мету.

Матеріали і методики досліджень. Очевидно, що 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  $V_g$  у над-рідинному просторі. Тоді повний об'єм апарата складає  $V = V_p + V_g$ .

Разом з тим рідинний об'єм складається з циліндричної і конічної частин:

$$V_p = V_{p.c} + V_{p.k}$$

Цим записам відповідають співвідношення:

$$V_{p.ц} = \frac{\pi d^2}{4} h; \quad V_{p.к} = \frac{\pi d^2}{12} h_k; \quad (1)$$

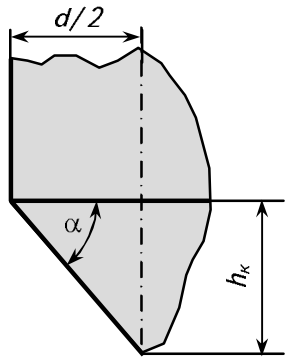
Відповідно площі робочих поверхонь, з яких складається загальна поверхня теплообміну:

$$S_{p.ц} = \pi dh; \quad (2)$$

$$S_{p.к} = \pi r \ell = \pi r \sqrt{r^2 + h_k^2}; \quad (3)$$

Тоді загальна поверхня, на якій відбувається теплообмін:

$$S_{заг.} = S_{p.ц} + S_{p.к} = \pi dh + \pi \frac{d}{2} \sqrt{\frac{d^2}{4} + h_k^2}; \quad (4)$$



В подальшій частині пошуків геометричних параметрів необхідно стабілізувати висоту конічної частини через обрану величину кута  $\alpha$  (рис. 1).

$$h_k = (d \operatorname{tg} \alpha) / 2. \quad (5)$$

Технологічно прийнятним може бути  $\alpha = 45^\circ$ . Тоді

$$h_k = d/2. \quad (6)$$

Відповідно до одержаного результату маємо

$$S_{заг.} = \pi dh + \pi \frac{d}{2} \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{d^2}{4}} = \pi dh + \pi \frac{d^2}{2\sqrt{2}}. \quad (7)$$

**Рис. 1.** Схема до визначення кута  $\alpha$  і висоти  $h_k$  конічного об'єму

Значення кута  $\alpha$  між горизонталлю та положенням твірної конуса може бути різним і таким, яке потребує гомогенізації середовища за показником температури. Очевидно, що вибір кута  $\alpha$  змінює співвідношення між діаметром  $d$  і висотою конусної частини. Ці співвідношення зафіксовані в таблиці.

Узагальнимо співвідношення між величинами  $h_k$  і  $d$  позначкою  $k_{h_k}$ :

$$h_k = k_{h_k} d. \quad (8)$$

**Таблиця.** Співвідношення між геометричними параметрами бродильних апаратів

$\alpha$ , градус	15	30	45	60	75
$\operatorname{tg} \alpha$	0,268	0,578	1,0	1,732	3,732
$h_k$	0,134d	0,289d	0,5d	0,866d	1,866d

Тоді умова (4) переписується:

$$S_{заг.} = \pi dh + \pi \frac{d}{2} \sqrt{\frac{d^2}{4} + k_{h_k}^2 d^2}. \quad (9)$$

В останній залежності невідомою залишається висота циліндричної частини  $h$ . Для знаходження цього параметра скористаємося умовами (1) та запишемо вираз по визначенню загального об'єму:

$$V_{заг.} = \frac{\pi d^2}{4} h + \pi \frac{d^2}{12} h_k. \quad (10)$$

Звідси визначаємо:

$$h = \frac{4 \left( V_{\text{зар.}} - \pi \frac{d^2}{12} h_k \right)}{\pi d^2} = \frac{V_{\text{зар.}} - \pi \frac{d^2}{12} k_{h_k} d}{4/\pi d^2}. \quad (11)$$

В числовому прикладі прийнемо значення  $V_{\text{зар.}} = 70 \text{ м}^3$ ,  $d = 3 \text{ м}$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $k_{h_k} = 0,5$  і розрахуємо:

$$h = \frac{4 \left( 70 - 3,14 \frac{9}{12} 0,5 \cdot 3 \right)}{3,14 \cdot 9} = 9,41 \text{ м.} \quad (12)$$

Перехід до значення  $d = 2 \text{ м}$  за інших рівних умов приводить до величини

$$h = \frac{4 \left( 70 - 3,14 \frac{4}{12} 0,5 \cdot 2 \right)}{3,14 \cdot 9} = 21,95 \text{ м.} \quad (13)$$

Для можливості графічної інтерпретації впливів параметрів наведемо інші розрахунки за змінних значень діаметрів  $d$ .

Так для  $d = 1,5 \text{ м}$  маємо:

$$h = \frac{4 \left( 70 - 3,14 \frac{2,25}{12} 0,5 \cdot 1,5 \right)}{3,14 \cdot 2,25} = 39,38 \text{ м.} \quad (14)$$

Відповідно для  $d = 2,5 \text{ м}$  маємо:

$$h = \frac{4 \left( 70 - 3,14 \frac{6,25}{12} 0,5 \cdot 2,5 \right)}{3,14 \cdot 6,25} = 13,85 \text{ м.} \quad (15)$$

Умові  $d = 3,5 \text{ м}$  відповідає:

$$h = \frac{4 \left( 70 - 3,14 \frac{12,25}{12} 0,5 \cdot 3,5 \right)}{3,14 \cdot 12,25} = 6,69 \text{ м.} \quad (16)$$

На рис. 2 наведено графік залежності  $h = h(d)$ .

Очевидно, що вибір різних співвідношень  $d$  і  $h$  приводить до змін величин поверхонь теплопередавання  $S_{\text{зар.}}$ . Виконаємо послідовні розрахунки для різних пар значень:

- для значень  $d = 1,5 \text{ м}$  і  $h = 39,38 \text{ м}$ :

$$S_{\text{зар.}} = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 39,38 + 3,14 \frac{1,5}{2} \sqrt{\frac{2,25}{4} + 0,25 \cdot 2,25} = 187,97 \text{ м}^2; \quad (17)$$

- для значень  $d = 2,0 \text{ м}$  і  $h = 21,95 \text{ м}$ :

$$S_{\text{зар.}} = 3,14 \cdot 2 \cdot 21,95 + 3,14 \frac{2}{2} \sqrt{\frac{4}{4} + 0,25 \cdot 4} = 142,29 \text{ м}^2; \quad (18)$$

- для значень  $d = 2,5$  м і  $h = 13,85$  м:

$$S_{\text{зар.}} = 3,14 \cdot 2,5 \cdot 13,85 + 3,14 \frac{2,5}{2} \sqrt{\frac{6,25}{4} + 0,25 \cdot 6,25} = 115,66 \text{ м}^2; \quad (19)$$

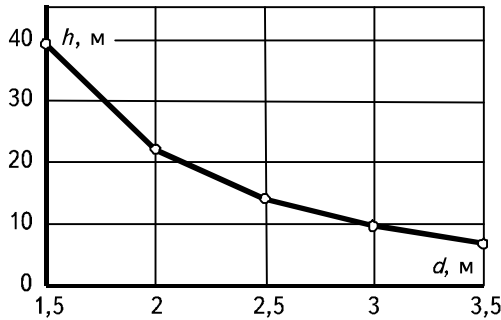
- для значень  $d = 3$  м і  $h = 9,47$  м:

$$S_{\text{зар.}} = 3,14 \cdot 3 \cdot 9,47 + 3,14 \frac{3}{2} \sqrt{\frac{9}{4} + 0,25 \cdot 9} = 109,10 \text{ м}^2; \quad (20)$$

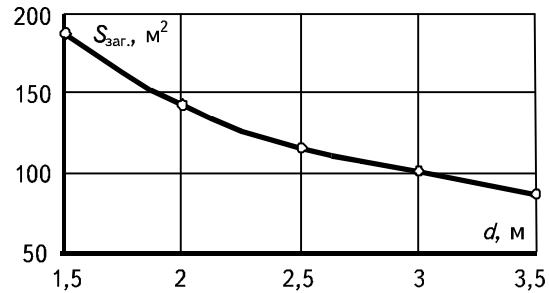
- для значень  $d = 3,5$  м і  $h = 6,69$  м:

$$S_{\text{зар.}} = 3,14 \cdot 3,5 \cdot 6,69 + 3,14 \frac{3,5}{2} \sqrt{\frac{12,25}{4} + 0,25 \cdot 12,25} = 87 \text{ м}^2;; \quad (21)$$

На рис. 3 наведено графічне відображення залежності поверхні теплопередачі від вибору співвідношень  $d$  і  $h$  для ізооб'ємних апаратів з загальним об'ємом рідинної фази  $V_p = 70 \text{ м}^3$ .



**Рис. 2. Графік залежності висоти рідинного шару в циліндричній частині апарата від діаметра (формула (11))**



**Рис. 3. Графік залежності поверхні теплопередавання від діаметра в бродильному ізооб'ємному апараті (формула (9))**

Наведені результати щодо впливу співвідношень геометричних параметрів приводять до висновку про можливість варіацій за показником поверхні теплопередавання в широкому діапазоні. Однак очевидним супроводженням при цьому є зростання витрат матеріалів на виготовлення ізооб'ємних апаратів, зміни технологічних умов мікробіологічних процесів, зростання гідростатичних тисків. разом з тим вертикальна циркуляція газорідного середовища означає присутність шоків за показником тиску і одночасно присутні локальні зони з різними температурами [3, 4]. Обмеження різниць температур на поверхні теплопередачі одночасно означає перспективи температурних шоків. Саме 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:

$$\frac{S_{\text{зар.}}}{V_{\text{рід}}} = \frac{\pi dh + \pi \frac{d}{2} \sqrt{\frac{d^2}{4} + k_{\text{к}}^2 d^2}}{\frac{\pi d^2}{4} h + \frac{\pi d^2}{12} h_{\text{к}}} = \frac{12 \left( h + 0,5 \sqrt{\frac{d^2}{4} + k_{\text{к}}^2 d^2} \right)}{3dh + dh_{\text{к}}}. \quad (22)$$

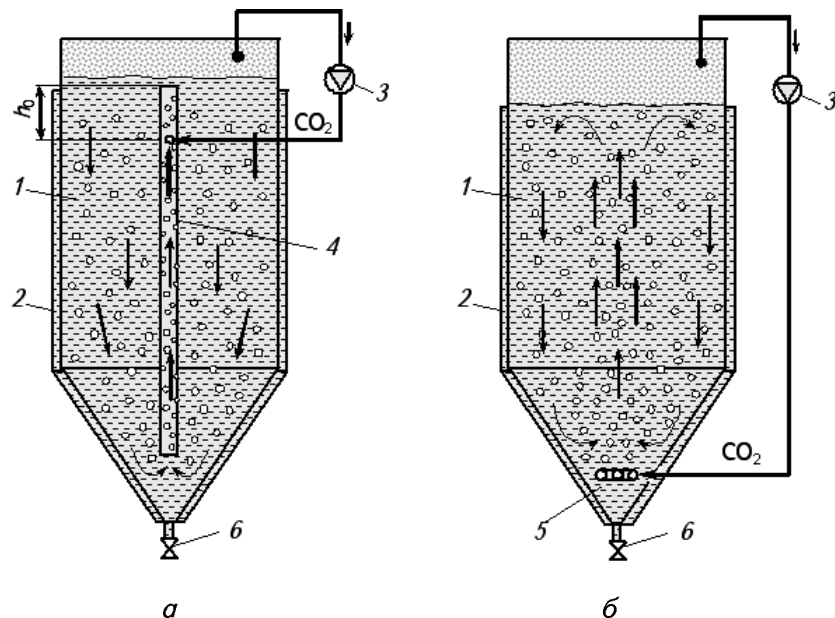
Очевидно, що зі збільшенням кута  $\alpha$  об'єм конусної частини зростає, рівно як і поверхня теплопередачі. Така особливість вказаних співвідношень має важливе значення для випадків, за яких температурний перепад обмежується технологічними особливостями. Останні

стосуються апаратів мікробіологічного синтезу і у тому числі бродильних виробництв за умовою запобігання температурних шоків. 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. Оскільки середовище найбільш охолоджене в нижній частині конічного об'єму, то висхідний циркуляційний контур має розпочинатися від цієї зони. За висоти шару газорідної фази від 10 до 40 м і більше влаштування циркуляційного контуру доцільно здійснювати на основі ерліфт-насоса або за рахунок подавання стиснутої газової фази в нижню частину конуса.

Присутність циркуляційної труби (варіант *a*, рис. 4) дозволяє помітно знизити тиск газової фази, що створюється компресором 3.

Введення  $\text{CO}_2$  з об'єму газової фази в циркуляційну трубу навіть на обмеженій висоті  $h_0$  приводить до підвищеного вмісту в ній диспергованої газової фази. За таких умов в трубі 4 виникає активний висхідний газорідний потік, який підсилюється потенціалом розчиненого газу, що у зв'язку з цим дозволяє призупиняти роботу компресора (рис. 4, *a*) і при цьому висхідний потік в циркуляційній трубі продовжує своє існування. Енергетичне джерело у такому випадку обумовлюється градієнтом розчиненого  $\text{CO}_2$  по висоті середовища в апараті.

Циркуляційний контур по рис. 4, *б* влаштовується за умови безперервної роботи компресора, який має долати гідростатичний протитиск рідинної фази.



**Рис. 4. Схеми влаштування циркуляційних контурів:**

1 — бродильний апарат; 2 — сорочка охолодження; 3 — компресор; 4 — циркуляційна труба; 5 — газорозподільний пристрій; 6 — запірна арматура

Порівняння цих двох схем дозволяє віддати перевагу випадку з ерліфт-насосом у зв'язку з обмеженням тиску газової фази, створюваним компресором.

Висновки. Габаритні розміри бродильних апаратів визначають можливості питомих поверхонь теплопередачі при вирішенні задачі стабілізації температур середовищ. Показано, що сполучення циліндричних і конічних частин об'ємів бродильних апаратів приводять до необхідності влаштування спеціальних контурів циркуляції.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кунце В. Технология солода и пива / В. Кунце, Г. Мит: пер. с нем. — СПб., Изд-во «Профессия», 2001. — 912 с.

2. *Домарецький В.А.* Технологія солоду і пива / В.А. Домарецький: підруч. для студентів вищ. закл. освіти. — К.: Урожай, 1999. — 544 с.

3. *Інтенсифікація* тепло- масообмінних процесів в харчових технологіях: Монографія / А.І. Соколенко, А.А. Мазаракі, О.Ю. Шевченко та ін. / Під ред. д-ра техн. наук, проф. А.І Соколенка. — К.: 2011. — 536 с.

4. *Соколенко А.І.* Фізико-хімічні методи обробки сировини і харчових продуктів / А.І. Соколенко, В.А. Піддубний, В.А. Гіджеліцький та ін.: підруч. для студентів ВНЗ. — К.: Кондор-Видавництво, 2015. — 324 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БРОДИЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**О.В. Коваль, И.Ф. Максименко, Р.Н. Леус**

*Национальный университет пищевых технологий*

*Предложены математические модели для оценки влияния геометрических параметров бродильных аппаратов с точки зрения интересов определения удельных поверхностей охлаждения и стабилизации температурных параметров.*

*Получено обобщение, которое касается динамики генерирования тепловых потоков в сбраживаемых средах и выбора геометрических параметров аппаратов и представления факторов влияния на массо- и энергообмен в сбраживаемых средах.*

**Ключевые слова:** брожение, аппарат, массообмен, теплопередача, тепловой поток, динамика, геометрия.