

Кулінченко В.Р. доктор техн. наук,
Мотуз І.К. асистент, Національний університет харчових технологій
Kulintchenko V.R doctor of science,
Motuz I.K. assistant, National university of food technology

До розрахунку вакуум-апаратів періодичної дії
Гідродинамічний розрахунок вакуум-апаратів
To calculation of vacuum-pans of batch-type.
Hydrodynamic calculation of vacuum-pans

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень розроблені методичні основи гідравлічного і гідродинамічного розрахунку вакуум-апарата періодичної дії.

Ключові слова: утіль, вакуум-апарат, гідравліка, гідродинаміка, швидкість дійсна, швидкість приведена, опускні і підйомні труби.

On the basis of theoretical and experimental researches methodical bases of hydraulic and hydrodynamic calculation of vacuum pans of batch-type are developed.

Keywords: massecuite, vacuum pans, hydraulics, hydrodynamics, veritable speed, resulted speed, movable and liftings pipes.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны методические основы гидравлического и гидродинамического расчета вакуум-аппарата периодического действия.

Ключевые слова: утфель, вакуум-аппарат, гидравлика, гидродинамика, истинная скорость, приведенная скорость, опускные и подъемные трубы.

Завдання гідродинамічного розрахунку вакуум-апаратів визначаються технологічними вимогами забезпечення у всій масі утфеля інтенсивної й рівномірної кристалізації без утворення вторинних центрів кристалізації, конгломератів і зон перегріву, які призводять до розкладання цукрози. Розрахунок ведеться з метою визначення швидкості циркуляції утфеля в заданому режимі роботи вакуум апарата або з метою визначення режимних параметрів і конструктивних характеристик, що забезпечують оптимальну необхідну швидкість циркуляції утфеля [1]. Крім цього з гідродинамічного розрахунку визначають гідравлічні опори циркуляційного контуру, а також час перебування елементарних об'ємів утфеля в кип'ятільних трубах.

Гідродинамічний розрахунок вакуум-апаратів оснований на спільному рішенні рівнянь матеріального й енергетичного балансів для циркуляційного контуру. Рівняння матеріального балансу приводить у відповідність масові витрати потоків у підйомних і опускних каналах вакуум-апарата з урахуванням витрат відкачуваних свіжого сиропу або паток, пари що видаляється, водяних підкачувань і т.п. Рівняння енергетичного балансу віддзеркалює той факт, що при існуючій у вакуум-апараті швидкості циркуляції весь рушійний тиск тратиться на подолання всіх опорів циркуляційного контуру.

$$G_0 = G_{on} + G_{нк} = G' + G'' \quad (1)$$

Для вакуум-апаратів періодичної дії розрахунок ускладнюється тим, що підкачки надходять в апарат періодично, а пара з апарата відводиться.

Рівняння матеріального балансу: безперервно. При цьому змінюються об'єм і рівень утфеля в апараті. Розрахунок гідродинамічних характеристик виконується для визначення миттєвого стану процесу уварювання, для якого задані рівень утфеля в апараті і його теплофізичні властивості. Для цього випадку залежність (1) буде справедливою. У наступну мить із поверхні утфеля виділиться пара у кількості G'' , а кількість утфеля в опускному

каналі складе $G_{on} = G''$, об'єм і рівень утфеля в апараті змінюється, і залежність (1) необхідно складати для нових умов.

Рівняння енергетичного балансу:

$$\Delta p_0 = \Delta p_{nid} + \Delta p_y + \Delta p_{on}. \quad (2)$$

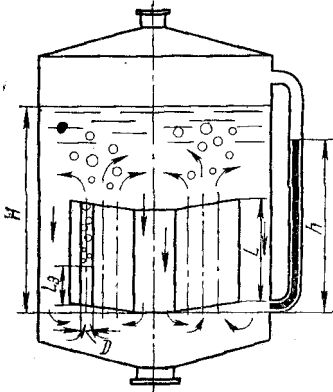


Рис. 1. Схема циркуляції утфеля в промисловому вакуум-апараті

Коли рівень утфеля H значно перевищує довжину кип'ятильних труб L (рис.1), рушійний тиск природної циркуляції створюється як на ділянці кип'ятильних труб Δp^{k_0} , так і над гріючою камерою, у так званому шарі набухання:

$$\Delta p^{k_0} = (L - L_e)\rho'g\varphi^{k_{cp}}; \quad (3)$$

$$\Delta p^{n_0} = H_n\rho'g\varphi^{n_{cp}}; \quad (4)$$

$$H_n = h - L. \quad (5)$$

Довжина економізаторної ділянки кип'ятильної труби

$$L_e = \frac{\frac{\partial i}{\partial p} (h\rho'g - \Delta p_{on} - \Delta p_{ex}^k) - \Delta i'_{on} \pm \Delta i'_{nk}}{4 \frac{q}{dW_0\rho'g} + \frac{\partial i}{\partial p} \rho'g \left(1 + \frac{\lambda}{d} + \frac{W_0^2}{2} \right)}. \quad (6)$$

Якщо позначити через F_{on} загальну площу поверхні нагріву, опускних каналів, f_k і f_{on} – сумарні площі перерізів відповідно кип'ятильних труб і опускних каналів, то

$$\Delta i'_{on} = \frac{qF_{on}}{W_{on}f_{on}\rho'g}. \quad (7)$$

Позначивши масові витрати підкачок через S_{nk} , а їх ентальпію – i'_{nk} , то

$$\Delta i'_{nk} = i' - \frac{(W_0f_k - S_{nk})i' + S_{nk}i'_{nk}}{W_0f_k}, \quad (8)$$

де i' – ентальпія утфеля в зоні підведення підкачок.

Середній паровміст суміші в кип'ятильній трубці становить:

$$\varphi_{cp}^k = \frac{(W_0')_{cp}}{W_{cp}''}, \quad (9)$$

де $(W_0')_{cp}$ – середня витратна швидкість пари в кип'ятильній трубці.

Швидкість пари змінюється від нуля на економізаторній ділянці до максимального значення $(W_0'')_{вих}$ на виході із труби й становить:

$$(W_0'')_{cp} = \frac{(W_0'')_{вих}}{2,303 \lg \left[1 + \frac{(W_0'')_{вих}}{W_0} \right]}; \quad (10)$$

$$(W_0'')_{вих} = \frac{4q(L - L_e)}{3600r\rho''Dg}, \quad (11)$$

де ρ'' – густина пари на виході з кип'ятильних труб, яка визначається на лінії насичення при тиску

$$p_{вих} = p_{cp} + (h - L)\rho'g. \quad (12)$$

Середню дійсну швидкість пари W_{cp}'' на ділянці генерації пари кип'ятильних труб визначаємо по рівнянню:

$$W_{cp}'' = 1,12 \left(\frac{\sigma^2 g^2 D}{\mu' \rho'} \right)^{1/7} + 3,24 \left(\frac{\mu'}{W_{cm} \rho' D} \right)^{0,1} W_{cm}. \quad (13)$$

В'язкість утфеля й усі інші необхідні теплофізичні параметри визначаємо по таблицях і графікам [1, 2] при заданій температурі.

Дійсний газовміст φ й швидкості фаз у шарі набухання ще не досліджені. Гідродинаміка шару набухання досить складна і не піддається вивченню на моделях невеликих геометричних розмірів, а в промислових апаратах дослідження вести досить складно. Пароутфельна суміш надходить у шар набухання з кип'ятільних труб зі значною початковою швидкістю. Потім швидкість надходження утфеля поступово зменшується, частина його затягується в спадний рух. На поверхні киплячого утфеля його швидкість можна прийняти рівній нулю. Парові бульбашки і снаряди на виході з труби також зменшують свою швидкість, хоча розміри їх збільшуються за рахунок розширення пари зі зменшенням тиску. Дійсну швидкість руху пари в шарі набухання можна визначити як швидкість спливання ланцюжка бульбашок за відомою методикою, але, варто зауважити, що швидкість спливання парових бульбашок в утфеля не досліджена. Можна припустити, що при зниженні витратних швидкостей руху пари і утфеля до значень, що мають місце в шарі набухання, формула (13) буде відповідати умовам руху парових бульбашок у шарі набухання, тому вплив другого доданку правої частини, буде незначним внаслідок малих значень W_{cm} . Виходячи з цього

$$\varphi_{cp}^n = \frac{(W_0'')_n}{W_n''}; \quad (14)$$

$$(W_0'')_n = \frac{(W_0'')_{вих} f_{\kappa}}{f_{cen}}, \quad (15)$$

де f_{cen} – площа поперечного перерізу сепараційної частини вакуум-апарата; W_n'' – дійсна швидкість спливання парових бульбашок, що визначається по формулі (13) при

$$W_{cm} = (W_0'')_n + (W_0')_n, \quad (16)$$

а витратна швидкість утфеля $(W_0')_n$ визначається як середня між значенням її на виході з кип'ятільних труб і на поверхні киплячого утфеля де вона дорівнює нулю. При лінійній кореляції

$$(W_0')_n = 0,5 \frac{W_0 f_{\kappa}}{f_{cen}}. \quad (17)$$

Теплофізичні параметри утфеля, які підставляються у формулу (13), при обчисленні W_n'' визначаються при температурі кипіння утфеля, яка відповідає відповідному тиску

$$p_n = p_0 + 0,5 (h - L) \rho' g, \quad (18)$$

де p_0 – тиск, підтримуваний у вакуум-апараті над шаром киплячого утфеля.

При обчисленні W_n'' по формулі (13) варто підставляти D – діаметр кип'ятільних труб, тому що діаметр апарата значно більше розмірів парових бульбашок, які піднімаються в шарі набухання, і не впливає на гідродинаміку шару, у той час як діаметр кип'ятільних труб невеликий і впливає на розміри парових бульбашок, що утворюються в цих трубах.

Втрати тиску в кип'ятільних трубах:

$$\Delta p_{к\tau\sigma} = \Delta p_{ex} + \Delta p_{mp}^e + \Delta p_{mp}^k + \Delta p_{вих}; \quad (19)$$

$$\Delta p_{mp}^e = \frac{32 L_e \mu_y W_0}{D^2}; \quad (20)$$

$$\Delta p_{mp}^k = \frac{32 (L - L_e) \mu_y W_0}{D^2 (1 - \varphi_{cp})^2}; \quad (21)$$

$$\Delta p_{вих} = \left(1 + \frac{250\mu_y}{W_0 D \rho'}\right) \left[1 + \frac{(W_0^{on})_{вих}}{W_0}\right]^{0,42} \frac{W_0^2 \rho'}{2}. \quad (22)$$

Втрати тиску на прискорення руху суміші в кип'ятильних трубах визначаються за формулою

$$\Delta p_y = \frac{W_0^2 \rho' \varphi_{вих}}{1 - \varphi_{вих}}. \quad (23)$$

Втрати тиску в опускних каналах:

$$\Delta p_{on} = \Delta p_{ex}^{on} + \Delta p_{mp}^{on} + \Delta p_{вих}^{on}; \quad (24)$$

$$\Delta p_{ex}^{on} = \frac{1,6 + 500\mu_y}{W_{on} D_{on} \rho'} \frac{W_{on}^2 \rho'}{2}; \quad (25)$$

$$\Delta p_{mp}^{on} = \frac{32\mu_y L W_{on}}{D_{on}^2}; \quad (26)$$

$$\Delta p_{вих}^{on} = \left(1 + \frac{250\mu_y}{W_{on} D_{on} \rho'}\right) \frac{W_{on}^2 \rho'}{2}, \quad (27)$$

де D_{on} – гідравлічний діаметр опускних каналів $D_{on} = 4f_{on}/\Pi_{on}$; Π_{on} – загальний змочений периметр опускних каналів.

Вихідними даними для гідродинамічного розрахунку вакуум-апаратів є технологічні характеристики утфеля на всіх стадіях уварювання, отримані на основі рішення рівнянь кінетики кристалізації, масообміну і технології, а також дані по інтенсивності теплообміну, які у свою чергу залежать від гідродинамічної обстановки. Тому тепловий і гідродинамічний розрахунки ведуться спільно методом послідовних наближень.

При наявності всіх даних розрахунок гідродинамічних величин ведуть методом послідовних наближень, задаючись послідовно декількома значеннями швидкості циркуляції утфеля W_0 і визначаючи таке значення W_0 , при якому буде виконуватися умова (2).

Аналітичні розрахунки через великий їх об'єм доцільно виконувати лише з використанням комп'ютерної техніки. Для одиничних розрахунків використовують графоаналітичний метод, який полягає в тім, що при заданих значеннях W_0 визначають сумарні рушійні тиски й сумарні втрати в циркуляційному контурі. Потім будують графік залежностей рушійних тисків і гідравлічних опорів від швидкості циркуляції. Як відомо, що рушійні тиски за інших рівних умов зі збільшенням швидкості циркуляції зменшуються, гідравлічні опори зростають, тому шукані значення W_0 будуть визначені точкою перетину кривих Δp_0 і $\Delta p_{опору}$.

Висновки. На основі теоретичних і наукових досліджень розроблені методичні основи гідравлічного і гідродинамічного розрахунку вакуум-апаратів періодичної дії циркуляційного типу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Интенсификация* процесса уваривания утфелей / В.Т. Гаряжа, В.Р. Кулинченко, Ю.Г. Артюхов, Б.Г. Дидушко. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981.– 152 с.
2. *Попов В.Д.* Основы теории тепло- и массообмена при кристаллизации сахарозы.– М.: Пищевая пром-сть, 1973.– 320 с.