



2014

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 20

№ 4

*Журнал «Наукові праці НУХТ»
засновано в 1993 році*

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2014

DISTRIBUTING OF TEMPERATURES WITHIN THE SURFACE OF HEAT EXCHANGE: BOILING MASSECUITE

V. Kulichenko

National University of Food Technologies

D. Kaptanovskiy

Cherkaskiy State Technological University

| | |
|--|---|
| Key words: <i>Natural convection</i> <i>Boiling</i> <i>Large volume</i> <i>Massecuite</i> <i>Weeds temperatures</i> <i>Extrapolated thickness of overheated layer</i> | ABSTRACT The task of stationary diamasuring convection natural heat exchange is considered between the surface of heat exchange (horizontal copper tube diameter is 6 mm) and boiling in a large volume to massecuite with maintenance of crystalline phase 10—50 %. The temperature fields between the surface of heat exchange and a free surface of massecuite have been determined experimentally; these fields consist of two areas: the overheated layer within the limits of surface of heat exchange, where a temperature gradually diminishes, and the area of practically unchanging temperature out of this layer. Calculation dependence, which allows defining the extrapolated thickness of the overheated layer, has been obtained and, thus, the change of all thermal and physical parameters depending upon a variable temperature factor can be estimated. |
| Article history: Received 16.07.2014 Received in revised form 01.08.2014 Accepted 15.08.2014 | |
| Corresponding author: V. Kulichenko Email: vitrokul@gmail.com | |

РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУР У МЕЖАХ ПОВЕРХНИ ТЕПЛОБМІНУ — КИПЛЯЧИЙ УТФЕЛЬ

В.Р. Кулінченко

Національний університет харчових технологій

Д.В. Каптановський

Черкаський державний технологічний університет

У статті розглянуто задачу стаціонарного двовимірного конвективного природного теплообміну між поверхнею теплообміну (горизонтальна мідна трубка діаметром 6 мм) і киплячим у великому об'ємі утфелем із вмістом кристалічної фази 10—50 %. Дослідним шляхом визначено температурні поля між поверхнею теплообміну і вільною поверхнею утфеля, які складаються з двох областей — перегрітого шару в межах поверхні теплообміну, де температура поступово зменшується, і практично незмінної температури поза цим шаром. Отримано розрахункову залежність, яка дозволяє визначити екстрапольовану товщину перегрітого шару і, таким чином, оцінити зміну всіх теплофізичних параметрів, що залежать від змінного температурного фактора.

Ключові слова: природна конвекція, кипіння, великий об'єм, утфель, поле температур, екстрагольована товщина перегрітого шару.

Для вивчення тепловіддачі при кипінні високов'язких цукрових утфелів важливо знати розподіл їхніх температур в елементах конструкції вакуум-апаратів. Поле температур і пов'язана з ним товщина перегрітого пристінного шару залежать від інтенсивності теплового потоку q , масової концентрації сухих речовин CP , тиску p , швидкості циркуляції W , що зумовлює зростання парової фази, відривні розміри бульбашок, число центрів паротворення і частоту генерації бульбашок. Знання параметрів, які певною мірою визначають механізм кипіння, дозволить створити фізичну модель процесу тепловіддачі і визначити його інтенсивність.

У працях [1, 2] відсутній аналітичний опис зміни градієнта температури. У зв'язку з цим на дослідній установці виконані вимірювання поля температур за висотою киплячого утфелю по поточній ординаті H , що змінюється від нуля біля поверхні теплообміну до дзеркала випаровування.

На рис. 1 показані результати вимірювань поля температур T у киплячих утфелях з різним вмістом твердої фази при $p = 13,1$ кПа і $q = 40$ кВт/м². Кожна експериментальна точка на рис. 1 є середнім значенням пульсації температури, вимірюваної температурним зондом за проміжком часу, протягом якого зонд залишався нерухомим. Розгляд розподілу температури показав, що падіння T за висотою киплячого утфелю відбувається в основному всередині пристінного шару, що омиває поверхню теплообміну.

Із зростанням масового вмісту кристалів цукру в утфелі, тобто з підвищенням ефективної в'язкості, збільшується і пристінний шар, в якому утфель значно перегрітий порівняно з температурою кипіння, відповідній температурі насичення з рахуванням ізико-хімічної депресії при певному p .

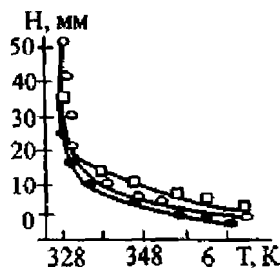


Рис. 1. Вміст твердої фази, %:
● — 10; ○ — 30; ◐ — 50

Майже вся корисна різниця T «спрацьовується» в пристінних шарах, тому внаслідок високої інтенсивності тепловіддачі до утфеля і малої теплопровідності пари порівняно з ефективною теплопровідністю утфелю можна вважати, що практично все тепло передається від поверхні нагріву до утфелю, а потім — жидким паровим бульбашкам шляхом випаровування в них рідини. Парові бульбашки, що ростуть і відриваються від поверхні теплообміну, турбулізують пристінний шар, проте для

утфелів він досягає значних розмірів. Так, постійна температура встановлюється при $q = 10$ кВт/м² на відстані $H = 55$ мм від поверхні теплообміну, а при $q = 80$ кВт/м² — $H = 30$ мм.

З технологічного боку існування значного за розмірами перегрітого шару призводить до утворення поля концентрацій, в якому міжкристальний розчин утфелів зазнає змін насичення. Так, у пристінних, значно перегрітих шарах, міжкристальний розчин утфелів знаходиться в ненасиченому стані, що, згідно з [3],

призводить до включення його в западини і тріщини кристалів, які згодом заростають, потрапляючи в менш перегріті і пересичені області, що спричиняє збільшення термозабарвлених домішок і погіршення якості кристалічної сахарози.

Зупинимось на детальнішому аналізі температурних полів (рис. 1). Усі виміряні температурні профілі киплячих утфелів характеризуються наявністю лінійної ділянки, розташованої над поверхнею теплообміну. Дослідження дозволили визначити товщину теплового перегрітого шару δ при змінних тепловому потоці і кількості СР в утфелях. У праці [2] товщина теплового пристінного шару визначена як висота над поверхнею, за межами якої середня температура в киплячому утфелі постійна. У [4] зазначається, що важко визначити, на якій саме висоті ця умова досягається, оскільки неможливо з'ясувати, де температурний градієнт дорівнює нулю, а область високого перегріву рідин охоплює невеличку висоту від поверхні теплообміну, яка значно менша за величини δ , наведені в [2].

Для аналізу температурних полів використовували методику, розроблену в [4], побудовану на припущенні, що в пристінному шарі різниця T має найбільше значення. Товщину цього шару δ можна визначити як відстань від стінки, на якій дотична до температурного профілю біля поверхні теплообміну перетинає лінію постійної температури рідини в об'ємі.

Ця дотична фактично є уявним продовженням (екстраполяцією) лінійної частини розподілу температури на температуру рідини, що знаходиться в об'ємі, тому δ можна назвати екстрапольованою товщиною перегрітого шару (ЕТПШ). Слід зазначити, що цей параметр достатньо точно відображає товщину перегрітої області пристінного шару.

Для киплячих утфелів ЕТПШ є функцією двох змінних $\delta = f(q, \text{СР}_y)$, що враховують вплив теплофізичних і режимних параметрів, оскільки для даних стабільних і метастабільних утфелів $\text{СР}_y = f(p)$, а $p \sim T$. Із збільшенням q при $\text{СР}_y = \text{const}$ ЕТПШ зменшуватиметься, а при $q = \text{const}$ і зростаючому вмісті СР утфелю — підвищуватися (рис. 2). З рис.2 видно, що нанесені лінії практично прямі, паралельні між собою. Це дає підставу припустити, що залежність $\delta = f(q, \text{СР}_y)$ можна представити в загальному вигляді емпіричною формулою:

$$\delta = A \text{СР}_y + Bq + C, \quad (1)$$

де A, B, C — постійні емпіричного рівняння.

Після визначення постійних емпірична формула в першому наближенні матиме вигляд:

$$\delta = 0,377 \text{СР}_y - 0,2q - 7,8 \quad (2)$$

де ЕТПШ — δ , мм; СР_y — масовий вміст СР утфелю, %; q , кВт/м².

Рівняння (2) дозволяє визначити ЕТПШ для утфелів із вмістом кристалів цукру до 50% при зміні q до 80 кВт/м² і $p > 5,2$ кПа. Це охоплює область набагато ширшу за ту, в якій працюють вакуум-апарати цукрової промисловості.

При визначенні температурних полів відмічено, що температурні пульсації досягають максимуму на левій висоті від поверхні нагріву, приблизно рівній ЕТПШ. Це дає підставу стверджувати, що в цій області відбувається сильна турбулізація, яка призводить до того, що відносно холодний утфель, який знаходиться над перегрітим шаром, опускається всередину, тобто до поверхні теплообміну.

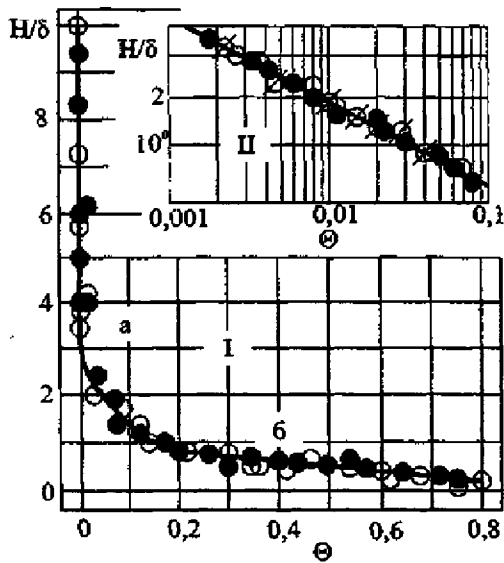


Рис. 2. Залежність ЕТПШ від інтенсивності теплового потоку при СР, %: ● — 76,4; ○ — 81,7; ◐ — 87,0 і масового вмісту СР при q , кВт/м²:
 ○ — 10; ◐ — 40; □ — 80

Отримана таким чином величина ЕТПШ дозволяє знайти довжину прямолінійної частини температурного профілю і місце, де температурні флуктуації досягають свого максимуму. Рівняння (2) дозволяє розраховувати величину δ за відсутності даних вимірювання температурного профілю.

Обробка дослідних даних у вигляді безрозмірної температури від безрозмірного лінійного розміру

$$\frac{T - T_i}{T_\infty - T_i} = \theta = f\left(\frac{H}{\delta}\right) \quad (3)$$

дозволила отримати узагальнений температурний профіль, для якого прямолінійна частина описується рівнянням (рис. 3—I):

$$\frac{T - T_i}{T_\infty - T_i} = 1 - \frac{H}{\delta}, \quad 0 \leq \frac{H}{\delta} \leq 0,9. \quad (4)$$

Умова, що обмежує рівняння (4), показує, що кінець прямолінійної частини (точка б, рис. 2 — I) температурного профілю відхиляється від лінійного закону при ЕТПШ $\approx 0,9 H/\delta$.

За ділянкою з лінійним розподілом температури лежить область, де безрозмірна різниця температур зв'язана степеневим залежністю з безрозмірною функцією (H/δ) (рис. 2.I (а—б) і рис. 2 — II). Ця залежність описується рівнянням:

$$\frac{T - T_\infty}{T_{cr} - T_\infty} = A \left(\frac{H}{\delta}\right)^n, \quad \frac{H}{\delta} > 0,9. \quad (5)$$

де A — постійний коефіцієнт, що визначається шляхом сумісного вирішення рівнянь (4) і (5) в точці перегину, тобто при $H/\delta = 0,9$.

Визначити показник степеня n рівняння (5) важко, оскільки величина n може бути функцією або розподілу активних центрів на поверхні теплообміну або гідродинамічних умов в пристінному шарі, або того й іншого одночасно.

Згідно з дослідними даними (рис. 3), в першому наближенні можна вважати, що $n = -3,2$.

Отже, для нелінійної області розподілу T температурний профіль можна виразити рівнянням (5) при $A = 0,078$ і $n = -3,2$, з якого видно, що безрозмірна температура обернено пропорційна відношенню лінійних розмірів у степені —

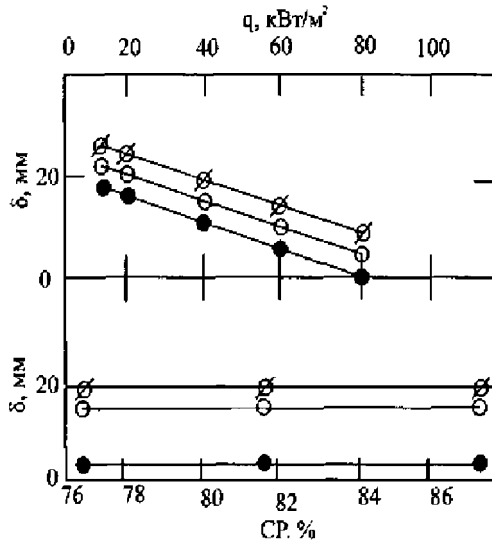


Рис. 3. Безрозмірний температурний профіль киплячих утфелів при p , кПа: \circ – 13,1; \bullet – 41,7

будь-якій точці можна визначити температуру, яка надасть можливість оцінити теплофізичні параметри киплячого утфелю.

Література

1. *Гаряжа В. Т.* Температурное поле вакуум-аппарата с подвесной кольцевой камерой. — Труды Киевского технологического института пищевой промышленности. — 1955. — Вып. 15. — С. 217—223.
2. *Попов В. Д.* Основы теории тепло - и массообмена при кристаллизации сахарозы. — М.: Пищевая промышленность, 1973. — 319 с.
3. *Хониг П.* Принципы технологии сахара. — М.: Пищепромиздат, 1961. — 615 с.
4. *Marcus B. P., Dropkin D.* Experimental research of temperature types in the overheated boundary layer above a horizontal surface at the bubble boiling of water in a large volume. *Trans ASME, J. Heat Transfer.* — 1965. — 86, № 3. — С. 14—34.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В ПРЕДЕЛАХ ПОВЕРХНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА – КИПЯЩИЙ УТФЕЛЬ

В.Р. Кулиниченко

Национальный университет пищевых технологий

Д.В. Каптановский

Черкасский государственный технологический университет

В статье рассмотрена задача стационарного двухмерного конвективного естественного теплообмена между поверхностью теплообмена (горизонтальная медная трубка диаметром 6 мм) и кипящим в большом объеме утфелем с содержанием кристаллической фазы 10-50 %. Опытным

3,2. Розв'язок цієї задачі в більш загальному вигляді вимагає додаткових систематичних досліджень.

За отриманими температурними кривими можна розрахунковим шляхом визначити поля пересичень, в'язкість, густини, а також кількість уварюваної маси, що піддається дії високих температур.

Висновки

1. Отримане емпіричне рівняння дає змогу визначити екстрапольовану товщину перегрітого шару в киплячих утфелях.

2. За рівняннями (4), (5) в

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

путем получены температурные поля между поверхностью теплообмена и свободной поверхности утфеля, которые состоят из двух областей – перегретого слоя в пределах поверхности теплообмена, где температура постепенно уменьшается, и практически неизменной температуры вне этого слоя. Получена расчетная зависимость, которая позволяет определить экстраполированную толщину перегретого слоя и, таким образом, судить об изменении всех теплофизических параметров, зависящих от переменного температурного фактора.

Ключевые слова: естественная конвекция, кипение, большой объем, утфель, полет температур, экстраполированная толщина перегретого слоя.