

з'язок між клітинами. Наведені дані доводять, що у разі підвищення тиску пари тривалість обробки необхідно зменшувати, у протилежному випадку значно зростає глибина проварювання. Також слід врахувати і той факт, що картопля зі знизеним вмістом крохмалю потребує тривалішої обробки, на відміну від сортів картоплі з високим вмістом крохмалю.

**Висновки.** Експериментальні дослідження довели, що значний вплив на глибину проварювання картоплі мають тиск пари та тривалість обробки нею картоплі. Установлено, що такий показник сорту картоплі, як вміст крохмалю також впливає на проварювання поверхневого шару бульби. Під час проведення парового способу очищення слід врахувати зусилля з відділення шкірки від бульби, оскільки зусилля відривання в подальшому впливатиме на тривалість механічного доочищення продукту та на якість очищення поверхні бульб. У подальшому стає необхідним визначити раціональні режими механічної обробки сортів картоплі різного технологічного призначення після обробки гострою парою.

#### *Список літератури*

1. Ратушной, А. С. Технология продукции общественного питания [Текст] Т. 1. Физико-химические процессы, протекающие в пищевых продуктах при их кулинарной обработке / А.С. Ратушной. – М. : Мир, 2003. – 351 с.
2. Ковалев, В. С. Промышленное производство продуктов питания из картофеля [Текст] / В. С. Ковалев. – К. : Урожай, 1987. – 80 с.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.

© О.Г. Терешкін, Д.В. Дмитревський, 2010.

УДК 641.8:004.21

**В.О. Потапов**, д-р техн. наук

**О.В. Петренко**, асист.

### **ГІДРОДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ КОНВЕКЦІЙНОГО РУХУ У МАСТИЛЬНОЇ ОБОЛОНЦІ УНІВЕРСАЛЬНОГО ЖАРИЛЬНОГО АПАРАТА З ПРОМІЖНИМ ОБІГРІВОМ**

*Обговорюється гідродинамічна модель конвекційного руху проміжного теплоносія в мастильній оболонці універсального жарильного апарата з проміжним обігрівом кремнійорганічним теплоносієм, на основі якої можливе вирішення теплотехнічних задач з визначення розподілу температур на жарильній поверхні апарата.*

*Обсуждается гидродинамическая модель конвекционного движения промежуточного теплоносителя в греющей рубашке универсального жарочного аппарата с промежуточным обогревом кремнийорганическим теплоносителем, что даст возможность решения теплотехнических задач при определении распределения температур на жарочной поверхности аппарата.*

*In this paper need to be discussed hydrodynamic model of convection movement of intermediate coolant in the heating jacket universal frying apparatus with indirect heating silicone coolant, which will enable solutions thermal problems in determining the temperature distribution on the surface of the frying apparatus.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Дуже важливими теплотехнічними показниками апаратів для проведення процесу жарення основним способом є нерівномірність температурного поля робочої поверхні та теплова інерційність [1].

За наявності великої нерівномірності температурного поля за визначений технологічний час жарення певного виробу в місцях з мінімальною температурою жарильної поверхні, температура у центрі продукту може бути нижчою за температуру готовності виробу, а в місцях з максимальною температурою жарильної поверхні температура на поверхні продукту може перевищувати гранично припустиму для даного виробу [2].

Інерційність апарата характеризується часом перехідного процесу, за який жарильна поверхня набуває стаціонарного значення температури. Це обумовлено тим, що під час закладання на жарильну поверхню нової порції виробів її температура миттєво зменшується, тому потрібний деякий час для того, щоб жарильна поверхня відновила свій стаціонарний стан.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У жарильному апараті з проміжним теплоносієм робоча поверхня обігривається за рахунок конвекційного теплообміну між тенами та теплоносієм. Вирішення завдання конвекційного теплообміну в замкненій поверхні надто складне. Аналітичне вирішення цього завдання на сьогоднішній час відсутнє. Тому, зазвичай, для моделювання конвекційного теплообміну застосовується емпірико-аналітичний метод, який потребує чисельних експериментів для визначення раціональних теплотехнічних показників об'єкта, який досліджується.

**Мета та завдання статті** полягає в отриманні гідродинамічної моделі конвекційного руху проміжного теплоносія в мастильній оболонці універсального жарильного апарата з проміжним обігривом, яка надалі дозволить вирішувати теплотехнічні завдання з визначення розподілу температур на жарильній поверхні апарата.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Наближену фізичну модель конвекційного теплообміну в об'ємі мастильної оболонки отримусмо за наступних припущень. Будемо вважати, що характер конвекційного руху стаціонарний, плоский та симетричний відносно тенів (див. рисунок), а саме постає висхідний потік рідини від тенів до жарильної поверхні та низхідний потік від жарильної поверхні до низу мастильної оболонки, тобто виникає циркуляційний потік  $ABCD$ .

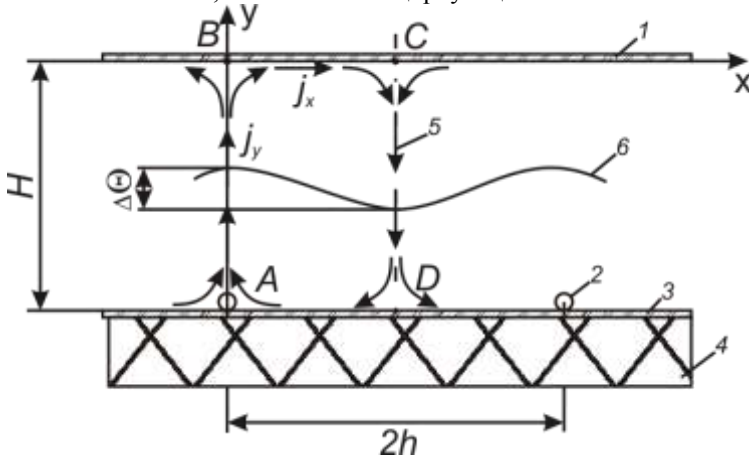


Рисунок – Геометрія конвекційних потоків у мастильній оболонці універсального жарильного апарата: 1 – жарильна поверхня; 2 – тени; 3 – днище; 4 – теплоізоляція корпусу; 5 – конвекційні потоки; 6 – характер температурного поля

За такого потоку максимальна та мінімальна температура на жарильній поверхні буде спостерігатись відповідно в точках  $B$ ,  $C$  вздовж осі  $x$ . Цей перепад температур викликаний тепловіддачею від проміжного теплоносія до жарильної поверхні на ділянці між точками  $B$  та  $C$ . Будемо вважати також, що теплопередача шляхом теплопровідності практично відсутня в порівнянні з конвекцією. Конвекційний рух середньою швидкістю  $v$  виникає під дією різниці густини рідини у висхідному та низхідному потоках. На підставі цього рівняння Бернуллі для в'язкої рідини можна записати наступним чином:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \Delta\rho g H + \eta \frac{v}{h/2} = 0, \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина теплоносія для його середньої температури;  $\Delta\rho$  – різниця густин теплоносія у висхідному та низхідному потоках;  $v$  – середня

швидкість циркуляції теплоносія;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $H$  – висота мастильної оболонки,  $h/2$  – характерний розмір трубки циркуляційного струму ( $2h$  – шаг розташування тенів);  $\eta$  – динамічна в'язкість теплоносія.

Різниця густин теплоносія пов'язана з коефіцієнтом об'ємного розширення та характерною різницею температур наступним чином

$$\Delta\rho = \rho\beta\Delta T, \quad (2)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія;  $\Delta T = T_B - T_C$  – різниця температур теплоносія в точках  $B$  та  $C$ .

З урахуванням останнього рівняння знайдемо з (1) залежність середньої швидкості циркуляційного потоку від висоти мастильної оболонки. Рішення залишимо у критеріальному вигляді

$$\text{Re} = \sqrt{2} \sqrt{2 + \text{Gr} \frac{H}{h}} - 2, \quad (3)$$

де  $\text{Re} = \frac{\rho v h}{\eta}$  – число Рейнольдса,  $\text{Gr} = \frac{\rho^2 g h^3 \beta \Delta T}{\eta^2}$  – критерій Грасгофа.

Ураховуючи, що умовою розвиненої вільної конвекції є критичне значення  $\text{Gr} > 1700$  [3], рівняння (3) спрощується так:

$$\text{Re} \approx \sqrt{2 \text{Gr} \frac{H}{h}}. \quad (4)$$

Отримане рівняння (4) є гідродинамічною моделлю вільної конвекції у мастильній оболонці жарильного апарата з непрямим обігрівом. Як випливає з (4), швидкість циркуляції залежить від максимального перепаду температур у точках  $B$ ,  $C$ . Чим цей перепад більший, тим більше швидкість циркуляції. З іншого боку, за умов сталого теплового навантаження на жарильну поверхню зі збільшенням швидкості циркуляції втрати ентальпії циркулюючого потоку на ділянці  $BC$  будуть зменшуватись, а, отже, буде зменшуватись перепад температур  $\Delta T$ .

**Висновки.** Таким чином, отримана гідродинамічна модель вільної конвекції в мастильній оболонці жарильного апарата з непрямим обігрівом дозволить вирішувати низку завдань, пов'язаних з дослідженням закономірностей розподілу температур на жарильній поверх-

ні апарата під час проведення технологічних процесів приготування продуктів харчування.

Далі на основі запропонованої моделі можна вирішувати теплообмінні задачі для знаходження точного розподілу температур на жарильній поверхні апарата вздовж осі  $x$ .

#### *Список літератури*

1. Черевко, О. І. Процеси та апарати жаріння харчових продуктів [Текст] : навч. посібник / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Бабкіна; Харк. держ. академія технолог. та орг. харчування. – Х. : ХДАТОХ, 2000. – 332 с.

2. Беляев, М. И. Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов [Текст] : монография / М. И. Беляев, П. Л. Пахомов. – Х. : ХИОП; Комунист, 1991. – 160 с.

3. Юдаев, Б. Н. Теплопередача [Текст] : учебник для вузов / Б. Н. Юдаев. – М. : Высшая школа, 1975. - 360 с.

Отримано 31.03.2010. ХДУХТ, Харків.

© В.О. Потапов, О.В. Петренко, 2010.

УДК 536.71

**В.О. Потапов**, д-р. техн. наук, доц. (*ХДУХТ, Харків*)

**С.О. Шевченко** (*ХДУХТ, Харків*)

**О.І. Зеленський** (*УХІН, Харків*)

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУСПЕНЗІЙ З ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ, ОТРИМАНИМИ З КОКСОВОГО ПИЛУ**

*Обговорюються експериментальні дані суспензій з вуглецевих нанотрубок, отриманих з коксового пилу.*

*Обсуждаются экспериментальные данные суспензий из углеродных нанотрубок, полученных из коксовой пыли.*

*It describes the experimental data with suspensions of carbon nanotubes obtained from dust coke.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Традиційні робочі тіла і теплоносії, які використовуються в системах перетворення енергії, практично вичерпали теоретичні можливості подальшого зростання коефіцієнта теплопровідності. Значний прогрес у цій області був досягнутий останніми роками за рахунок вживання нанотехнологій – суспензій наночасток в класичних теплоносіях. Наносуспензії – розчини наночасток, розміри яких знаходяться в діапазоні від 20 до 100 Å, стали