

## **15. Узагальнення дослідних даних під час кипінні води і цукрового розчину в критеріальній системі запропонованій Д.А. Лабунцовим**

**Дмитро Каптановський**

*Черкаський державний технологічний університет*

**Віталій Кулінченко**

*Національний університет харчових технологій*

**Вступ.** Дослідження процесу бульбашкового кипіння з метою отримання обґрунтованих розрахункових залежностей для тепловіддачі представляє науковий інтерес и має прикладне значення для багатьох галузей господарської діяльності, для хімічної, харчової фармацевтичної і зокрема цукрової промисловості.

**Матеріали і методи.** За допомогою швидкісної кінозйомки процесу кипіння води і цукрових розчинів з вмістом сухих речовин  $CP=80\%$ , а також тепло технологічними дослідженнями визначали необхідні для інженерних розрахунків параметри, які характерні для процесу кипіння.

**Результати.** Дослідження умов виникнення зародків парових бульбашок на поверхні нагріву повинно визначатися, інтенсивними пульсаціями частинок рідини безпосередньо біля самої поверхні нагріву [1, 2]. Відповідно цим уявленням залежність між критеріями подібності  $Nu=f(Re, Pr)$  повинна мати вигляд:

$$\frac{\delta l_*}{l} = f\left(\frac{ql_*}{rc_v v}, \frac{h}{a}\right), \quad (1)$$

Залежності (1) містять лінійний розмір  $l_*$  який залежить від наступних теплофізичних величин:  $\rho_v$  і  $\rho_L$  – густини пари і рідини,  $c$  – теплоємності рідини;  $r$  – прихованої теплоти пароутворення;  $\sigma$  – коефіцієнта поверхневого натягу,  $T_s$  – температури насичення,  $\nu$  – кінематичного коефіцієнта в'язкості і  $a$  – температуропровідності.

$$l_* = \frac{c c_L y T_s}{(r c_v)^2}. \quad (2)$$

У цьому разі значення числа подібності  $Re_*$  можна записати

$$Re_* = \frac{ql_*}{r c_v h}. \quad (3)$$

На підставі виконаного аналізу отримано розрахункове рівняння для визначення коефіцієнтів тепловіддачі під час кипіння води та інших рідин у великому об'ємі за умови, що  $Re_* \geq 10^{-2}$  [1]:

$$Nu_* = 0,125 Re_*^{0,65} Pr^{1/3} \quad (4)$$

Узагальнення отриманих дослідних даних під час кипіння води підтверджує правильність ведення розрахунків за рівнянням (4). При цьому наші дослідні дані з відхиленням  $-21,5\%$  від узагальнюючої лінії отриманої в [1, 2] і входять в поле похибки.

Для високов'язких цукрових розчинів і утфелів з різним вмістом кристалів цукру рівняння (4) не придатне це можна пояснити тим, що назване рівняння справедлива при  $0,86 \leq Pr \leq 7,6$ ;  $10^{-5} \leq Re_* \leq 10^4$  і тиску від 4500 Па до 17,5 МПа. Для термолабільних цукрових розчинів і утфелів ці параметри значно відрізняються від води, так при температурі 100 С  $Pr=368$ , а при 40 °С сягає 17590, кінематичний коефіцієнт в'язкості, який входить в число Рейнольдса, за 100 °С буде  $4 \cdot 10^7$ , а за 40 °С сягає  $2 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с, що відрізняється від цих параметрів для води від 2 до 4 порядків

Середня похибка, яка виникає при розрахунках коефіцієнтів тепловіддачі до киплячих цукрових розчинів досягає 200%.

Доцільно відмітити, що коли розміри зростаючої парової бульбашки досягають досить значних розмірів у порівнянні з розмірами зародка, тобто  $R \gg R_*$ , швидкість зростання бульбашки різко зменшується. Зменшення швидкості пов'язана з тим, що парове включення потрапляє до шарів менше перегрітої рідини.

### Висновки

1. Виконаний аналіз системи критеріїв подібності запропонованих для тепловіддачі при бульбашковому кипінні в умовах вільного руху киплячої рідини Д.А. Лабунцовим.

2. Доведено, що розрахункове рівняння (4) непридатне для визначення коефіцієнта тепловіддачі до киплячих цукрових розчинів високої концентрації.

## **Література**

1. **Лабунцов Д.А.** Физические основы энергетики. Избранные труды по теплообмену, гидродинамике, термодинамике. Теплообмен при пузырьковом кипении жидкости. М.: МЭИ, 2000. – С. 83-95.
2. **Лабунцов Д.А.** Физические основы энергетики. Избранные труды по теплообмену, гидродинамике, термодинамике. Обобщенные зависимости для теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкостей. М.: МЭИ, 2000. – С. 96-103.