

# ІНТЕНСИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ ЗА УМОВ НАГРІВАННЯ І ОХОЛОДЖЕННЯ ЦУКРОВОГО РОЗЧИНУ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Досліджено інтенсивність теплообміну в системі «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – цукровий розчин» в умовах нестационарних теплових процесів. Експериментально встановлено наскільки можливе використання експериментальних результатів отриманих на дослідній установці, коли замість твердого металічного циліндра досліджується металевий тонкостінний циліндр заповнений цукровим розчином різної концентрації.

**Ключові слова:** коефіцієнт тепловіддачі, темп нагрівання, нестационарний теплообмін.

## Abstract

The intensity of heat exchange in the system "water in an annular volume - a thin cylindrical metal wall - an organic medium" in the conditions of non-stationary thermal processes was studied. It is experimentally established to what extent it is possible to use the experimental results obtained in the experimental setup, when instead of a solid metal cylinder the metal thin-walled cylinder filled with sugar solution of different concentration is investigated.

**Key words:** heat transfer coefficient, heating rate, non-stationary heat transfer.

## Вступ

За умов проведення експерименту з використанням системи «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – цукровий розчин» («В-ЦП-Р») відбувався нестационарний теплообмінний процес. Методи розрахунку теплообміну в більшій мірі розроблені і апробовані для стаціонарного режиму.

Мета роботи: встановити можливість використання різних методів визначення інтенсивності тепловіддачі в системі «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – цукровий розчин» за умов вільної конвекції.

## Результати дослідження

Оскільки вказаний теплообмінний пристрій використаний в експериментально-розрахунковому методі [1] для вкрай складних рідинних середовищ, то на нашу думку, потрібно подальші уточнення закономірностей теплообміну в цьому пристрої. При чому ці методи повинні відповідати по надійності і точності.

Досліджувався цукровий розчин з концентрацією 50%, 60% та 70%. Охарактеризовано процес нагріву та охолодження. Робоче середовище, масою  $m = 0,9$  кг, досліджено в діапазоні зміни середньої температури  $t_2 = 33,6...53,2^\circ\text{C}$ , а середня температура грійного середовища (води) –  $t_1 = 79,6...75,9^\circ\text{C}$ , масою  $M = 3$  кг. Теплофізичні властивості цукрового розчину змінювалися в таких межах: кінематичний коефіцієнт в'язкості  $\nu = (0,23...0,101) \cdot 10^{-6}$ ,  $\text{m}^2/\text{s}$ ; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0,417...0,436$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ; коефіцієнт теплоємності  $C = 4,171...4,174$ ,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ; густина  $\rho = 988,1...998,2$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$  [2].

Регулярний тепловий режим використовується для визначення в твердих тілах теплопровідності, температуропровідності, коефіцієнта тепловіддачі, тощо. Досліджувалася система «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – цукровий розчин». Термічний опір металевої тонкої циліндричної стінки  $\delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}} = 1,1 \cdot 10^{-5}$   $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , для води в кільцевому об'ємі  $1/\alpha_1 - 1 \cdot 10^{-3}...2,7 \cdot 10^{-3}$   $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , для цукрового розчину –  $2,9 \cdot 10^{-3}...9,8 \cdot 10^{-3}$   $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , а отже  $\delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}} \ll 1/\alpha_1; 1/\alpha_2$ .

Коефіцієнт тепловіддачі в циліндричному об'ємі від металевої стінки до розчину в даній роботі визначено трьома методами:

1. Розрахунковим методом  $\alpha_2$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$  [3]

$$\alpha_2^{\text{розрах}} = \text{Nu}_2 \cdot \lambda_2 / H; \quad (1)$$

де  $Nu_2$  – критерій Нуссельта;  $H$  – визначальний розмір внутрішньої посудини (висота), м;  $\lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності дослідної рідини, Вт/(м·К).

2. Розрахунково-експериментальним методом  $\alpha_2$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_2^{p-e} = \frac{1}{\frac{1}{K_{\text{експ}}} + \frac{1}{\alpha_1}}, \quad (2)$$

де  $K_{\text{експ}} = Q/(F \cdot \overline{\Delta t})$  – експериментальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $Q$  – тепловий потік, що сприймається холодним теплоносієм (натурною рідиною), кДж;  $\overline{\Delta t}$  – середній температурний напір, °С;  $F$  – площа циліндричної посудини, м<sup>2</sup>;  $\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі між зовнішнім середовищем (водою) і циліндричною металевією стінкою, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Необхідно зазначити, що спочатку був розрахований коефіцієнт тепловіддачі між зовнішнім середовищем (водою) і циліндричною металевією стінкою  $\alpha_1$ , а потім методом постійних приближень знайдено температуру циліндричної стінки  $t_{\text{ст}}$ .

Методи 1 і 2 відносяться до методів стаціонарного теплообміну.

3. З використанням методу регулярного теплового режиму, який розроблений для нестационарного режиму теплообміну системи «навколишнє середовище – тверде тіло» («НС-ТвТ»), де тверде тіло, наприклад, металевий циліндр. Проведені досліди в системі «В-ЦП-Р» дозволили експериментально встановити  $m \approx \text{const}$ , тобто ознака того, що в даній системі за умов нестационарного теплообміну реалізується режим близький до регулярного. На цій основі прийняли до уваги формулу (3) [4].

$$\alpha_2^{\text{rtr}} = K_{\text{експ}} \cdot \frac{F \cdot \alpha_1}{m \cdot C \cdot \xi} \quad (3)$$

де  $C$  – повна теплоємність, Дж/кг·К;  $m$  – темп нагріву (охолодження), с<sup>-1</sup>.

Так як даний метод є наближений, нами було введено поправку  $\xi=0,8$ .

Співставивши результати пораховані по трьом методам коефіцієнта тепловіддачі в циліндричному об'ємі від металевієї стінки до розчину при їхньому нагріванні і охолодженні отримаємо розбіжність 30%.

### Висновки

1. В системі «В-ЦП-Р» по ознаці  $m = \text{const}$  експериментально встановлено, що режим близький до регулярного теплового режиму відомого для системи «НС-ТвТ».

2. Визначено з експериментальних розрахунків по теплообміну для системи «В-ЦП-Р» значення коефіцієнта тепловіддачі в циліндричному об'ємі від металевієї стінки до розчину трьома методами: два методи розроблені для умов стаціонарного теплообміну, а один – з врахуванням регулярного теплового режиму.

3. Між цими значеннями коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_2$  встановлена розбіжність 30%.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів : монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 148 с.
2. Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов : Справочник / А. С. Гинзбург, М. А. Громов, Г. И. Красовская. – Москва : Пищевая промышленность, 1980. – 288 с.
3. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Изд. 2–е, стереотип / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : «Энергия», 1977. – 344 с.
4. Календер'ян В. О. Методи дослідження процесів теплообміну. Експериментальні методи. Навчальний посібник. Частина 2 / В. О. Календер'ян. – Одеса: ОДАХ, 2006. – 75 с.

**Ткаченко Станіслав Йосипович** – д-р. техн. наук, професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Власенко Ольга Володимирівна** – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [olgakytysak7@gmail.com](mailto:olgakytysak7@gmail.com).

Науковий керівник: **Ткаченко Станіслав Йосипович** – д-р. техн. наук, професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Tkachenko Stanislav Yosypovych** - Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [stahit6937@gmail.com](mailto:stahit6937@gmail.com).

**Vlasenko Olga Vladimirovna** – postgraduate student, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [olgakytysak7@gmail.com](mailto:olgakytysak7@gmail.com).

Scientific supervisor: **Tkachenko Stanislav Yosypovych** - Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [stahit6937@gmail.com](mailto:stahit6937@gmail.com).

