

ТЕПЛОВІДДАЧА ЗІ СТОРОНИ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРОЦЕСІ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено інтенсивність теплообміну між зовнішнім середовищем та циліндричною металевою стінкою за умов нагріву і охолодження цукрового розчину в процесі нестационарного теплообміну в системі «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – дослідне рідинне середовище в циліндричному об'ємі».

Ключові слова: регулярний тепловий режим, темп нагрівання, нестационарний теплообмін, інтенсивність теплообміну.

Abstract

The intensity of heat exchange between the external environment and the cylindrical metal wall under the conditions of heating and cooling of the sugar solution in the process of nonstationary heat exchange in the system "water in an annular volume - thin cylindrical metal wall - experimental liquid medium in a cylindrical volume" was studied.

Key words: regular heat regime, sugar solution, heating rate, non - stationary heat exchange, heat transfer intensity.

Вступ

Існують декілька основних параметрів регулярного теплового режиму (РТР) притаманні для систем «рідина-тверде тіло» в умовах нестационарних теплових процесів. Одним з них є сталість коефіцієнта тепловіддачі між навколишнім середовищем та металевою стінкою $\overline{\alpha}_1$.

Мета роботи: дослідити коефіцієнт тепловіддачі зі сторони зовнішнього середовища (води) в процесі нестационарного теплообміну.

Результати дослідження

В даній роботі вивчається інтенсивність теплообміну в умовах охолодження (нагріву) цукрового розчину 3-х масових концентрацій: 50%, 60% та 70% твердої частини. Дослідження проводяться на експериментальному стенді, який розроблений на кафедрі теплоенергетики ВНТУ [1]. Досліджується система «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – дослідне рідинне середовище в циліндричному об'ємі».

Авторами [2] встановлено, що квазістационарний метод при визначенні коефіцієнта тепловіддачі до дослідного середовища дає розкид точок до 40...45% при нестационарному теплообміні. Тому для досягнення більшого узгодження експериментальних результатів та розрахунків запропоновано використання методу регулярного теплового режиму.

Нестационарний метод регулярного теплового режиму (РТР) зарекомендував себе для дослідження теплофізичних характеристик твердих тіл [3].

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони зовнішнього середовища (води) в процесі нестационарного теплообміну [4-5] знаходиться – $\overline{\alpha}_1 = \frac{\overline{Nu}_1 \cdot \lambda_1}{H}$, де \overline{Nu}_1 – критерій Нуссельта; λ_1 – коефіцієнт теплопровідності зовнішньої рідини (води), Вт/(м·К); H – визначальний розмір (висота внутрішньої циліндричної посудини), м. Визначення тепловіддачі для вертикальної поверхні приймає наступний вигляд $\overline{Nu} = 0,76 \cdot Ra_h^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{ct}}\right)^{0,25}$ за умови ламінарного режиму $10^3 < (Gr \cdot Pr_p) < 10^8$. У критеріальному рівнянні: $Ra_h = Gr_1 \cdot Pr_1$ – критерій Релея; $Gr_1 = (g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot H^3) / \nu^2$ – критерій Грасгофа; g – прискорення вільного падіння, м/с²; $\Delta t = |\overline{t}_1 - \overline{t}_{ct}|$ – температурний напір; \overline{t}_1 – середньооб'ємна температура зовнішнього середовища, °С; \overline{t}_{ct} – середня температура стінки, °С; β – коефіцієнт температурного розширення зовнішнього середовища, °С⁻¹; ν – кінематична в'язкість рідкого середовища, м²/с; $Pr_p = \frac{\nu_p}{\nu_a}$

– критерій Прандтля для рідини, визначений за середньооб’ємною температурою рідини; $Pr_{ст} = \frac{v_{ст}}{a_{ст}}$ – критерій Прандтля для стінки, значення $v_{ст}$ і $a_{ст}$ визначаємо в процесі ітераційного визначення коефіцієнта тепловіддачі $\bar{\alpha}_1$.

На рис. 1-2 показано значення середнього коефіцієнта тепловіддачі між зовнішнім середовищем (водою) і металевою циліндричною металевою стінкою в часі.

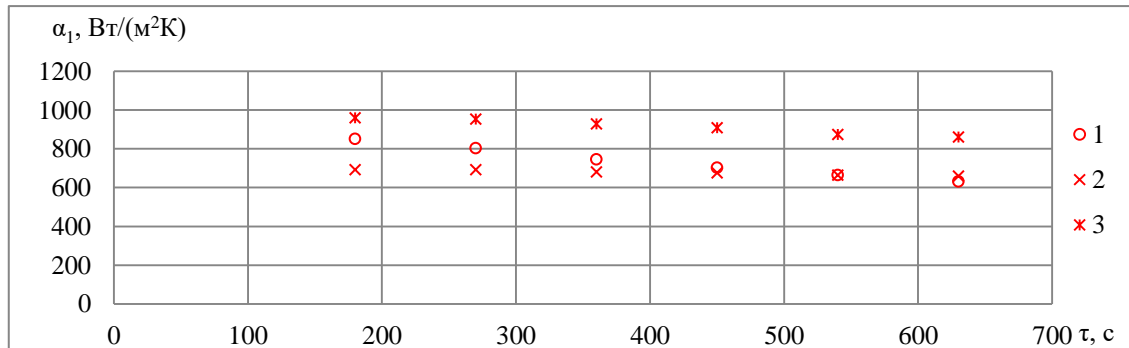


Рис. 1. Значення коефіцієнта тепловіддачі $\bar{\alpha}_1$ при нагріві цукрового розчину: 1 – c=50%, 2 – c=60% 3 – c=70%.

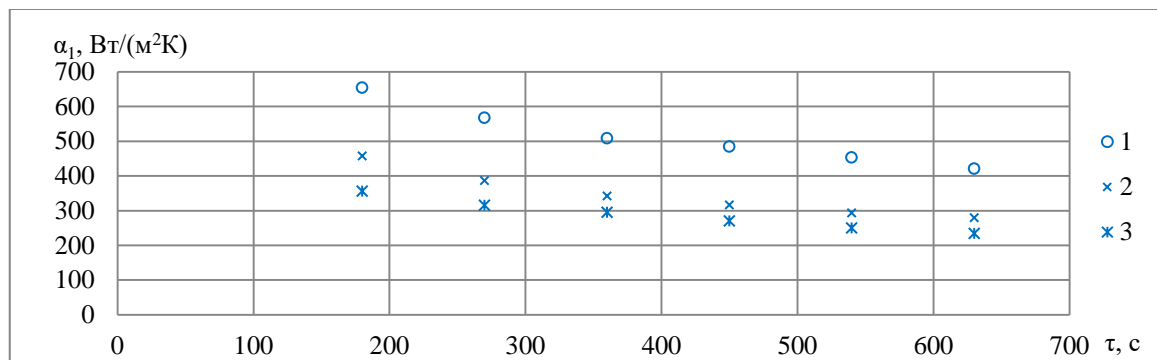


Рис. 2. Значення коефіцієнта тепловіддачі $\bar{\alpha}_1$ в часі при охолодженні цукрового розчину: 1 – c=50%, 2 – c=60% 3 – c=70%.

Відхилення значення $\bar{\alpha}_1$, знайдений у фіксований час, від середнього коефіцієнта тепловіддачі для всього процесу наведено в табл.1.

Таблиця 1

№п/п	Дослідна рідина	Процес	Середнє значення $\bar{\alpha}_1$ для всього діапазону, Вт/(м ² ·К)	Відхилення, %
1	Цукровий розчин c=50%	Нагрів	713	13 – 19
2	Цукровий розчин c=60%	Нагрів	654	1 – 6
3	Цукровий розчин c=70%	Нагрів	864	1 – 10
4	Цукровий розчин c=50%	Охолодження	482	15 – 20
5	Цукровий розчин c=60%	Охолодження	377	17 – 35
6	Цукровий розчин c=70%	Охолодження	264	13 – 25

Використовуючи методи обробки експериментальних даних для стаціонарного і нестаціонарного теплообміну запропонована методика визначення інтенсивності теплообміну $\bar{\alpha}_2 = f(\tau)$ на протязі часу охолодження (нагріву). В процесі експерименту встановлено, що темп охолодження (нагріву) сталий $m = \text{const}$. Після оцінки локального значення в часі $\bar{\alpha}_1$ і середнього значення $\bar{\alpha}_1$ на протязі РТР, приймаємо, що $\bar{\alpha}_1 = \text{const}$ для подальших розрахунків.

Запропонована методика скорочує час проведення експерименту і обробки експериментальних даних.

Запропонована залежність визначення інтенсивності теплообміну між циліндричною металевою стінкою і дослідним рідинним середовищем в циліндричному об'ємі має наступний вигляд

$$\bar{\alpha}_2 = f(\tau) = q_2 = f(\tau) \cdot \frac{F \cdot \bar{\alpha}_1}{m \cdot c \cdot \vartheta_v}, \quad (1)$$

де q_2 – питомий тепловий потік, який сприймається дослідним рідинним середовищем, Вт/м²; F – площа теплообмінної поверхні, м²; c – питома теплоємність дослідного рідинного середовища, Дж/(кг·К); ϑ_v – надлишкова середньооб'ємна температура зовнішнього теплоносія (води), °С.

Наведена залежність представляє собою об'єднання методів обробки даних для стаціонарного і нестаціонарного теплообміну.

Проведення експерименту з врахуванням РТР має суттєві переваги перед організацією проведення та обробки експерименту за умов стаціонарного теплообміну.

Висновки

Досліджено інтенсивність теплообміну між зовнішнім середовищем та циліндричною металевою стінкою за умов охолодження (нагріву) дослідної рідини в процесі нестаціонарного теплообміну в системі «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – дослідне рідинне середовище в циліндричному об'ємі».

Відхилення локальних коефіцієнтів тепловіддачі $\bar{\alpha}_1$ від середнього коефіцієнта тепловіддачі усього діапазону досліджень в основному знаходиться в межах 20%.

Запропонована залежність визначення інтенсивності теплообміну між циліндричною металевою стінкою і дослідним рідинним середовищем в циліндричному об'ємі.

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. Ткаченко С.Й. Перспективи використання методів регулярного режиму для визначення інтенсивності теплообміну в обмеженому об'ємі / С. Й. Ткаченко, Д. І. Денесяк. Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві». 2017. Том 23 №2. С. 106-112.
3. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – М. : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 408 с.
4. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. Учеб. пособие для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергия, 1979. — 320 с.
5. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев. – [2-е изд.]. – М. : Энергоатомиздат, 1949 – 396 с.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д-р. техн. наук, професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, stahit6937@gmail.com.

Степанова Наталія Дмитрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Stepanovand@i.ua.

Власенко Ольга Володимирівна – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olgakysak7@gmail.com.

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

Stepanova Nataliya D., Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Stepanovand@i.ua

Vlasenko Olga V. – postgraduate student, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olgakysak7@gmail.com.