

ОЗНАКИ МЕТОДУ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ В СИСТЕМІ “ВОДА В КІЛЬЦЕВОМУ ОБ’ЄМІ – ТОНКА ЦИЛІНДРИЧНА МЕТАЛЕВА СТІНКА – РІДИННЕ СЕРЕДОВИЩЕ В ЦИЛІНДРИЧНІЙ ЄМНОСТІ”

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведені експериментальні дослідження в системі “вода в кільцевому об’ємі (грійне середовище) – тонка циліндрична металева стінка (товщина стінки $\delta_{ст}=0,5$ мм) – дослідне рідинне середовище в циліндричній ємності”. В результаті аналізу яких встановлено, що в процесі нагріву в циліндричній ємності дослідних рідин (молоко, соняшникова олія, цукровий розчин з вмістом сухих речовин 50, 60%) реалізується регулярний тепловий режим з наступними ознаками: темп регулярного режиму сталий, коефіцієнт нерівномірного розподілу температур практично сталий, тепловіддача від води до циліндричної ємності практично стала.

Ключові слова: регулярний тепловий режим, надлишкова температура, нестационарний теплообмін, темп нагріву (охолодження), коефіцієнт нерівномірного розподілу температур.

Annotation

Experimental studies were carried out in the system "water in a circular volume (heating medium) - a thin cylindrical metal wall (wall thickness $\delta_{st} = 0,5$ mm) - a test liquid medium in a cylindrical tank". As a result of the analysis of which it is established that in the process of heating in the cylindrical capacity of the test liquids (milk, sunflower oil, sugar solution with a solids content of 50, 60%) a regular thermal regime with the following characteristics is realized: the rate of regular mode is constant, the coefficient of uneven distribution constant, heat transfer from the water to the cylindrical tank is almost constant.

Keywords: regular thermal regime, excess temperature, non-stationary heat transfer, heating rate (cooling), coefficient of uneven temperature distribution.

Вступ

Характерною особливістю регулярного теплового режиму є сталість темпу охолодження (нагрівання) для всіх точок тіла і його незалежність від початкового температурного розподілу в системі “рідина-тверде тіло”. Методи регулярного теплового режиму розроблені і досліджені для вказаної вище систем [1-3].

Мета досліджень: встановити можливість застосування методів регулярного теплового режиму для аналізу результатів досліджень нестационарного теплообміну в системі “вода в кільцевому об’ємі (грійне середовище) – тонка циліндрична металева стінка (товщина стінки $\delta_{ст}=0,5$ мм) – дослідне рідинне середовище в циліндричній ємності”.

Основні результати

На експериментальній установці, яка детально описана в [4-5] і представляє систему “вода в кільцевому об’ємі (грійне середовище) – тонка циліндрична металева стінка (товщина стінки $\delta_{ст}=0,5$ мм) – дослідне рідинне середовище в циліндричній ємності” проведені дослідження закономірностей нагріву молока, соняшникової олії, цукрового розчину з вмістом сухих речовин 50, 60% за умов вільної конвекції.

Таблиця 1 – Основні результати експериментів

№ п/п	Дослідна рідина	Діапазон зміни середньооб'ємної температури грієної води в кільцевому об'ємі	Діапазон зміни середньооб'ємної температури дослідної рідини в циліндричному об'ємі	m-темп нагріву (охолодження) дослідної рідини, c ⁻¹	Ψ- коефіцієнт нерівномірного розподілу температур	α ₁ - коефіцієнт тепловіддачі від гарячої води в кільцевому об'ємі до металевої стінки, Вт/м ² К	Теплофізичні властивості
1	Водний розчин цукру, масова концентрація сухих речовин 50%.	79,6-75,9	33,6-53,2	0,0032	0,12(±17%)	736 (±3%)	Відомі [6]
2	Водний розчин цукру, масова концентрація сухих речовин 60%.	82,7-79,8	40,4-56,2	0,0033	0,18 (±6%)	826 (±4%)	Відомі [6]
3	Молоко	72,7-703	56,8-62,1	0,0062	0,4 (±15%)	510 (±8%)	Обмежена інформація
4	Соняшникова олія ДСТУ 4492	81,7-76,7	31,2-57,8	0,0037	0,23 (±15%)	852 (±13%)	Обмежена інформація

Експеримент проводився наступним чином. В циліндричну ємність об'ємом 1 л заливається дослідна рідина з температурою, в кільцевий об'єм – вода з температурою (див. табл. 1). В процесі нагріву рідини і охолодження води температури виводились на комп'ютер і фіксувались.

Обробка результатів експериментів представлена у вигляді залежності $\ln(\vartheta) = f(\tau)$, де $\vartheta_v = |\bar{t}_1 - \bar{t}_2|$ - надлишкова температура, °C; \bar{t}_1 - середньооб'ємна температура води в кільцевому об'ємі (зонд із п'яти термопар); \bar{t}_2 - середньооб'ємна температура води в циліндричному об'ємі (зонд із п'яти термопар).

Аналіз експериментальних залежностей $\ln(\vartheta) = f(\tau)$ показав, що вони мають лінійний характер, темп охолодження і має своє числове значення (див. табл. 1).

$$m = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_1 - \tau_2} = const \quad (1)$$

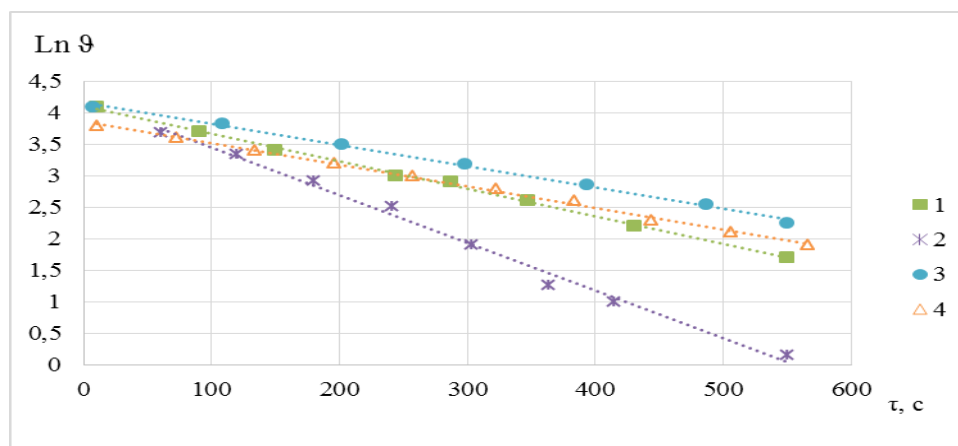


Рис.1. Розподіл логарифма надлишкової температури за часом: 1 – цукровий розчин концентрацією 50%; 2 – молоко; 3 – соняшникова олія; 4 – цукровий розчин концентрацією 60%.

Нами експериментально встановлено, що під час реалізації регулярного теплового режиму залишаються практично сталими $\Psi \approx \text{const}$, $\alpha_1 \approx \text{const}$, де $\Psi = \vartheta_F / \vartheta_v$ – коефіцієнт нерівномірного розподілу температур; ϑ_F – надлишкова температура стінки, $\vartheta_F = |\bar{t}_1 - \bar{t}_{\text{ст}}|$.

Визначення коефіцієнта тепловіддачі α_1 , Вт/(м²·К) [1]

$$\alpha_1 = \text{Nu} \cdot L / \lambda ; \quad (2)$$

де Nu – критерій Нуссельта;

L – визначальний розмір внутрішньої посудини, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К).

Критерій Нуссельта

$$\text{Nu} = (\text{Gr} \cdot \text{Pr}_p)^{0,25} \cdot (\text{Pr}_p / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}; \quad (3)$$

Gr – Критерій Грасгофа;

Pr_p – критерій Прандтля при температурі дослідної рідини;

$\text{Pr}_{\text{ст}}$ – критерій Прандтля при температурі стінки.

Аналізуючи власні розрахунки, нами встановлено, що для дослідних рідин зберігаються умови реалізації регулярного теплового режиму, які притаманні для твердого тіла [7]. Основні результати експериментів Ψ (коефіцієнт нерівномірного розподілу температур), m (темп нагріву (охолодження) дослідної рідини, с⁻¹), α_1 (коефіцієнт тепловіддачі від гарячої води в кільцевому об'ємі до металевої стінки, Вт/м²К) представлені в табл.1.

Висновки

Експериментально встановлено, що основні ознаки регулярного теплового режиму (РТР), які притаманні системі “навколишнє середовище (вода) – тверде тіло” в умовах нестационарного режиму мають місце і в системі “вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – дослідна рідина”: темп нагріву дослідної рідини в циліндричній посудині $m = \text{const}$; коефіцієнт тепловіддачі від гарячої води в кільцевому об'ємі до металевої стінки в процесі РТР практично сталий $\alpha_1 \approx \text{const}$; коефіцієнт нерівномірного розподілу температур між гарячою водою і рідиною в циліндричній посудині $\Psi \approx \text{const}$.

Одержані представлені результати дозволяють методи регулярного теплового режиму застосовувати за умов експериментального дослідження інтенсивності теплообміну в нестационарних процесах в рідинах з обмеженою інформацією відносно фізичних параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – М. : Государственное издательство технико – теоретической литературы, 1954. – 408 с.
2. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Изд. 2–е, стереотип / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : «Энергия», 1977. – 344 с.
3. Исаченко В. П. Теплопередача. Учебник для вузов, изд. 3 – е, перераб. и доп. / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: «Энергия», 1975. – 488 с.
4. 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.
5. Ткаченко С. Й. Дослідження темпу нагрівання гетерогенного рідкого середовища / С. Й. Ткаченко, О. В. Власенко. – Науково-технічний журнал «Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві» – 2019. – №1. – 127 – 133 с.
6. Колесников В. А. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов / В. А. Колесников, Ю Г. Нечаев. – М. : Пищевая пром-сть, 1980. — 392 с. Учебник.
7. Ткаченко С. Й., Власенко О. В. Дослідження темпу охолодження рідкої багатокомпонентної органічної системи. в Матеріали конференції “Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2019)”, Вінниця, 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/index/pages/view/zbirn2019> Дата звернення: Лют. 2020.

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: olgakysak7@gmail.com.

Задоян Владислав Олегович – студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

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

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

Zadoyan Vladislav Olegovich – student of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.